Beziehungen zwischen Klimaelementen und der Produktivität von Pinus radiata Plantagen in Chile

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät

der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt
von
Juan Caldentey
aus Santiago-Chile

München, im Juli 1989

UNIV.
ABERDEEN
BIBL.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555422_0031

Beziehungen zwischen Klimaelementen und der Produktivität von Pinus radiata Plantagen in Chile

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde
der Forstwissenschaftlichen Fakultät

der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt
von
Juan Caldentey
aus Santiago-Chile

München, im Juli 1989

1. Gutachter: em. Prof. Dr. Dr. h. c. A. Baumgartner
2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. h. c. F. Franz

Tag der mündlichen Prüfung : 19. Juli 1989

Gedruckt mit Unterstützung des
Deutschen Akademischen Austauschdientes

VORWORT

Die vorliegende Arbeit enthält Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben "Beziehungen zwischen Klimaelementen und der Produktivität von Pinus radiata Plantagen in Chile", das in den Jahren 1985 bis 1988 unter der Leitung von Prof. Dr. Dr. h.c. Albert Baumgartner am Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München durchgeführt worden ist. Ihm gilt für seine stetige menschliche und fachliche Unterstützung mein besonderer Dank.

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Friedrich Franz vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Universität München danke ich dafür, daß ich bei seinem Lehrstuhl die Arbeitsmethode für die Biomasseuntersuchungen kennenlernen konnte.

Herrn Prof. Dr. Harald Schmidt vom "Departamento de Silvicultura" der Facultad de Ciencias Agrarías y Forestales in Santiago-Chile danke ich für sein stetes Interesse, seine Gesprächsbereitschaft und sein förderndes Entgegenkommen.

Herrn Dr. Hans Pretzsch, Herrn Dipl.-Forst. Ing. Nelson Vergara, Herrn Dipl.-Forst. Ing. Iván Bandak und allen anderen Kollegen, die mir bei dieser Forschung geholfen haben, bin ich sehr dankbar.

Ebenso möchte ich allen Mitarbeitern am Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München, insbesondere Herrn Dr. Dr. habil. Helmut Mayer und Herrn Dr. Peter Höppe, meinen Dank für ihre Unterstützung und Anregungen aussprechen.

Meine zwei Aufenthalte an der Universität München wurden mir durch Stipendien des DAAD und die Beurlaubung durch die Facultad de Ciencias Agrarías y Forestales der Universität de Chile ermöglicht. Bei beiden Institutionen möchte ich mich herzlich bedanken.

Zum Dank verpflichtet bin ich auch der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die dieses Forschungsvorhaben finanziert hat.

INHALTSVERZEICHNIS

		SEITE
VORWORT		I
INHALTSVERZEICHNIS		II
ZUSAMMENFASSUNG		V
1. EINLEITUNG UND ZIELE DER UNTERSUCHUNG		1
2. ALLGEMEINE ANGABEN		3
2.1.	Verbreitung von Pinus radiata (D.Don)	3
2.1.1.	Natürliches Verbreitungsgebiet	3
2.1.2.	Künstliche Anbaugebiete	4
2.1.3.	Pinus radiata in Chile	6
2.1.3.1.	Regionale Verteilung	6
2.1.3.2.	Wirtschaftliche Bedeutung	8
2.2.	Untersuchungsgebiet	11
2.2.1.	Geographische Lage	11
2.2.2.	Geologie	12
2.2.3.	Boden	13
2.2.4.	Klima	16
3. ARBEITSMETHODEN UND DATENAUSWERTUNG		25
3.1.	Arbeitsmethoden	25
3.1.1.	Definition von Untersuchungszonen	26
3.1.2.	Herstellung von kartographischen Arbeitsgrundlagen	26
3.1.3.	Bestimmung der Biomasse von Pinus radiata Bäumen und Beständen	27
3.1.3.1.	Auswahl von geeigneten Probebeständen	27
3.1.3.2.	Auswahl von geeigneten Probebäumen	28
3.1.3.3.	Bestimmung der Biomasse von Probebäumen	29
3.1.3.4.	Bestimmung der Biomasse von Probebeständen	32
3.1.4.	Bestimmung der potentiellen Produktivität von Pinus radiata Plantagen	32
3.1.4.1.	Klimatologische Daten	32
3.1.4.2.	Ertragskundliche Daten	33
3.1.4.3.	Korrelation zwischen Klima und Produktivitätsparametern	34
3.1.4.4.	Kartierung der potentiellen Produktivität	34
3.2.	Datenauswertung	35

SEITE

4. ERGEBNISSE 36

4.1. Biomasse 36
4.1.1. Schätzfunktionen für die Biomasse der grünen Äste in Abhängigkeit von Astkenngrößen 36
4.1.2. Schätzfunktion für die Biomasse der toten Äste in Abhängigkeit von Astkenngrößen 38
4.1.3. Schätzfunktion für die Nadeloberfläche in Abhängigkeit vom Nadelgewicht 40
4.1.4. Schätzfunktionen für die Biomasse der Baumorgane in Abhängigkeit von Baumgrößen 42
4.1.4.1. Schätzfunktion zur Bestimmung des Stammtrockengewichtes 43
4.1.4.2. Schätzfunktion zur Bestimmung des Trockengewichtes der toten Äste 47
4.1.4.3. Schätzfunktion zur Bestimmung des Trockengewichtes der grünen Zweige und Äste 50
4.1.4.4. Schätzfunktion zur Bestimmung des Nadeltrockengewichtes 53
4.1.4.5. Schätzfunktion zur Bestimmung des gesamten Trockengewichtes der grünen Äste 56
4.1.4.6. Schätzfunktion zur Bestimmung des Zapfentrockengewichtes 58
4.1.4.7. Schätzfunktion zur Bestimmung des gesamten Baumtrockengewichtes 61
4.1.5. Verteilung der Biomasse in den Bäumen 65
4.1.6. Mittlerer laufender Biomassezuwachs der Bäume 68
4.1 7. Verteilung der Nadelbiomasse in der Baumkrone 71

4.2. Beziehungen zwischen klimatologischen Parametern und potentieller Produktivität von Pinus radiata Plantagen 75
4.2.1. Modell für die Bestimmung des Standortsindex in Abhängigkeit von klimatologischen Parametern 76
4.2.2. Modell für die Bestimmung des Produktivitätsindex in Abhängigkeit von klimatologischen Parametern 84
4.2.3. Kartierung der potentiellen Produktivität 89
4.2.3.1. Standortsindex 89
4.2.3.2. Produktivitätsindex 92
4.2.3.3. Potentielle jährliche Produktivität der natürlichen Pflanzenbedeckung 95

4.3. Diskussion der Modelle 98

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN 104

6. LITERATURVERZEICHNIS 105

SEITE

7. VERZEICHNISSE 112

7.1. Tabellen 112

7.2. Abbildungen 116

8. TABELLENANHANG 121

Anhang I: Baumgrößen und Biomasse der Stichprobenbäume 121

Anhang II: Mittlere klimatologische Werte und mittlere Baumgrößen der Stichprobenbestände 128

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit werden Beziehungen zwischen 22 klimatologischen Parametern und der Produktivität von Pinus radiata Plantagen für ein ausgewähltes Gebiet in Chile untersucht. Dazu werden einfache Schätzmodelle für den potentiellen Standortsindex SI, (= mittlere Baumhöhe von 20 Jahre alten Plantagen) und den potentiellen Produktivitätsindex PI (= mittlere jährliche Produktion von 12 Jahre alten Plantagen) entwickelt. Als Ergebnisse der Modellrechnungen werden Karten für die Verteilung des potentiellen Standortsindex und des potentiellen Produktivitätsindex im Untersuchungsgebiet präsentiert.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von 32°21' bis 40°24' s.B. und erfaßt sowohl die beiden Abhänge der sogenannten "Küstenkordillere" als auch den Landstreifen, der zwischen dieser Kordillere und dem Pazifischen Ozean liegt. Der größte Teil des Bodens im Untersuchungsgebiet besteht aus Granitgesteinen und metamorphen Gesteinen. Das Gebiet hat ein subtropisches Klima mit großem ozeanischen Einfluß und einem mediterranen Niederschlagsregime. Die jährliche Niederschlagssumme schwankt zwischen 500 und 2500 mm, und die Länge der Trockenperiode variiert zwischen 0,5 und 8 Monaten.

Die Produktivität von Pinus radiata Bäumen und Beständen wurde über die "Harvest-Methode" bestimmt. 172 Stichprobenbäume von sieben verschiedenen Untersuchungszonen wurden gefällt und auf ihr Trockengewicht hin untersucht. Allometrische Schätzfunktionen für die Biomasse der oberirdischen Baumorgane (Stamm, Nadeln, grüne Zweige und Äste, tote Äste, Zapfen) und des gesamten Baums wurden entwickelt, um die akkumulierte Biomasse und die jährliche Produktivität von Beständen berechnen zu können.

Über diese Schätzfunktionen wurden für 182 Pinus radiata Stichprobenbestände die Biomassen aufgrund von vorhandenen ertragskundlichen Daten ermittelt. Damit und mit entsprechenden klimatologischen Daten wurden über stufenweise Regressionsanalysen die Zusammenhänge zwischen zwischen dem Produktivitätsindex PI und klimatologischen Parametern aufgestellt. Das gleiche Verfahren wurde mit Daten von 157 Pinus radiata Stichprobenbeständen angewendet, um die Abhängigkeit des Standortsindex SI von klimatologischen Parametern zu untersuchen. Dadurch wurden Modelle zur Bestimmung

von PI und SI als Funktionen von klimatologischen Paramtern entwickelt. Durch die Anwendung dieser Modelle wurden die mittlere jährliche potentielle Produktivität sowie der potentielle Standortsindex von Pinus radiata Beständen für jeden Ort eines klimatologischen Netzes im Untersuchungsgebiet berechnet. Die Ergebnisse sind hier in Form von Karten dargestellt.

Die Ergebnisse in der Karte für den Produktivitätsindex von Pinus radiata Plantagen werden mit den Ergebnissen in der Karte für die potentielle Produktivität von natürlicher Pflanzenbedeckung, berechnet durch das "Miami-Modell" nach LIETH, verglichen.

Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse können folgendermaßen zusammengefaßt werden:

a) Biomasse

- Als Bestimmungsgrößen für das Trockengewicht von Nadeln, grünen Zweigen und Ästen sowie für das gesamte Astgewicht von grünen und toten Ästen erwiesen sich Astdurchmesser und Astlänge als am geeignetsten.

- Die Nadeloberfläche der Pinus radiata Nadeln ließ sich über eine lineare Regression mit dem Nadelgewicht als unabhängiger Variable mit einem Korrelationskoeffizient von 0,902 bestimmen.

- Die Baumkenngrößen Baumhöhe und Stammgrundfläche erwiesen sich als die besten Bestimungsgrößen für das Trockengewicht der Stämme sowie für das gesamte Baumgewicht.

- Als geeignetste Bestimmunggrößen für die Trockengewichte aller toten Äste der Bäume stellten sich der Brusthöhendurchmesser, die Baumhöhe und die Kronenlänge heraus.

- Der Brusthöhendurchmesser und die Kronenlänge erwiesen sich als die besten Bestimmungsgrößen für das Trockengewicht alle Teile der grünen Äste eines Baumes.

- Der Brusthöhendurchmesser und die Baumhöhe stellten sich als die besten Baumkenngrößen heraus, um das Trockengewicht aller Zapfen eines Baumes zu bestimmen.

- Der größte Teil des Baumgewichts konzentrierte sich bei allen Bäumen auf die Stämme (zwischen 57,1 und 84,9 %), wobei der prozentuale Anteil des Stammgewichts mit ansteigendem Baumalter zunahm.

- Es zeigte sich eine Abhängigkeit des Biomassezuwachses von Baumalter und Baumkronenklasse. Der mittlere laufende Biomassezuwachs der gesamten Bäume stieg in jeder Alterklasse von den unterdrückten zu den herrschenden Bäumen hin an.

- Die Verteilung der Nadelgewichte hing vom Baumalter ab. Die jungen, 7 Jahre alten Bäume, zeigten eine Konzentration der Anteile des Nadeltrockengewichts auf die untere Hälfte der Baumkronen. Schon 15 Jahre alte Bäume zeigten eine normale vertikale Verteilung der Nadeltrockengewichte bei den Baumkronen mit einen Schwerpunkt im Mittelkronenraum.

b) Beziehungen zwischen klimatologischen Parametern und potentieller Produktivität

- Eine Potenzfunktion mit den Parametern Winterniederschlagssumme (Juni, Juli und August) und Länge der frostfreien Periode als unabhängige Variable erwies sich als am geeignetsten, um den potentiellen Standortsindex von Pinus radiata Plantagen zu berechnen.

- Als zweckmäßigste Eingangsdaten für das Schätzmodell, in Form einer Potenzfunktion, zur Bestimmung des potentiellen Produktivitätsindex von Pinus radiata Plantagen stellten sich die Parameter jährliche Niederschlagssumme und Länge der frostfreien Periode heraus.

- Im allgemeinen steigen der potentielle Standortsindex und die potentielle Produktivität der Plantagen im Untersuchungsgebiet von Norden nach Süden an.

- Der Standortsindex und die Produktivität der Plantagen werden maßgeblich durch das Relief beeinflußt, wobei die maximalen Werte fast immer in der Höhe der Berggipfel der Küstenkordillere liegen.

- Bei steigender Aridität des Standortes ergibt sich eine Reduzierung der Werte von Blattflächenindex und Produktivität der Bestände. Dagegen stellt eine geringere Globalstrahlung keinen begrenzenden Faktor für das Biomassewachstum dar.

1. EINLEITUNG UND ZIELE DER UNTERSUCHUNG

In der chilenischen Forstwirtschaft spielen Pinus radiata Plantagen eine sehr wichtige Rolle. Ende des Jahres 1986 betrug der Holzvorrat der Pinus radiata Plantagen 114,3 Millionen m^3, was einem Wert von 87,17 % des gesamten Holzvorrats (134,2 Millionen m^3) aller Baumarten - Plantagen entspricht (INFOR, 1986). Diese Kiefernart ist heute in Chile auf einer Fläche von einer Million ha verbreitet. Die letzten Aufnahmen besagen, daß die potentielle Aufforstungsfläche für Pinus radiata in Chile noch um 2 Millionen ha anwachsen könnte (INFOR, 1988).

Die Biomasseproduktion von Bäumen und Waldbeständen wird durch abiotische und biotische Einflußgrößen bestimmt. Die Pinus radiata Pflanzungen, die sich insbesondere auf beide Seiten der chilenischen Küstenkordillere verteilen, erstrecken sich über 10 Breitengrade. In dieser ausgedehnten Zone sind die Ertragswerte der Bestandsbiomasse inhomogen (SCHLATTER, 1982). Ihre Variationen können durch Umgebungsfaktoren wie Relief, Exposition, Boden, Klima, usw., also durch standörtliche Eigenschaften erklärt werden.

Die Entwicklung von Pinus radiata Beständen unter dem Einfluß bestimmter Bedingungen wurde von SCOTT (1961), ARNTZ et al. (1969), GANDULO (1974), STUART (1976) und anderen beschrieben. Bei vielen dieser Untersuchungen erfolgte eine Analyse der Beziehungen zwischen den Böden und der Standortsproduktivität, wie z.B. bei COX (1982), GARCIA (1982) und MADGWIK (1985).

In der letzten Zeit haben sich BUES (1984) in Südafrika, BOOTH und SAUNDERS (1980) in Australien, HUNTER und GIBSON (1984) in Neuseeland und SCHLATTER et al. (1982) in Chile mit der Abhängigkeit der Pinus radiata Plantagen von klimatischen Faktoren beschäftigt.

Die naturwissenschaftliche Analyse der Abhängigkeit der Plantagenproduktivität von Standortsfaktoren sowie die modellhafte Quantifizierung der potentiellen Produktion eines Waldbestandes oder einer Region gehören zu den aktuellen Forschungsaufgaben in der chilenischen Forstwirtschaft. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sollen Grundlage für spätere waldbauliche und betriebswirtschaftliche Entscheidungen liefern. Ihr Ziel ist die

Erhaltung bzw. Steigerung der schon hohen Produktivität dieser "schnell wachsenden Plantagen".

Für die vorliegende Arbeit standen die folgenden drei Zielsetzungen im Vordergrund der Betrachtung:

a) Im ersten Teil soll über die Anwendung der "Harvest Methode" (SATOO, 1973) eine Bestimmung der Biomasse von Pinus radiata Beständen im Untersuchungsgebiet erfolgen, wobei auch eingehende Untersuchungen der Kronenstruktur der Bäume miteingeschlossen sind.

b) Im zweiten Teil der Arbeit soll die Abhängigkeit der mittleren jährlichen Produktivität der Bestände von Klimaelementen analysiert werden.

c) Im dritten Teil sollen die Produktivität von Pinus radiata Plantagen in Chile über einfache Modelle simuliert und entsprechende Karten der potentiellen Produktivität erstellt werden.

2. ALLGEMEINE ANGABEN

2.1. Verbreitung von Pinus radiata (D.Don)

2.1.1. Natürliches Verbreitungsgebiet

Das natürliche Verbreitungsgebiet der dreinadeligen Form von Pinus radiata beschränkt sich auf drei lokale Vorkommen südlich von San Francisco in Zentral-Kalifornien, USA (Abb. 1): Año Nuevo-Swanton, Monterey-Carmel und Pico Creek-Cambria (GRIFFIN und CRITCHFIELD, 1976; BUES, 1984). Das Areal dieser natürlichen Wälder beträgt ca. 6.400 Hektar (FORDE, 1966; CRITCHFIELD und LITTLE, 1971).

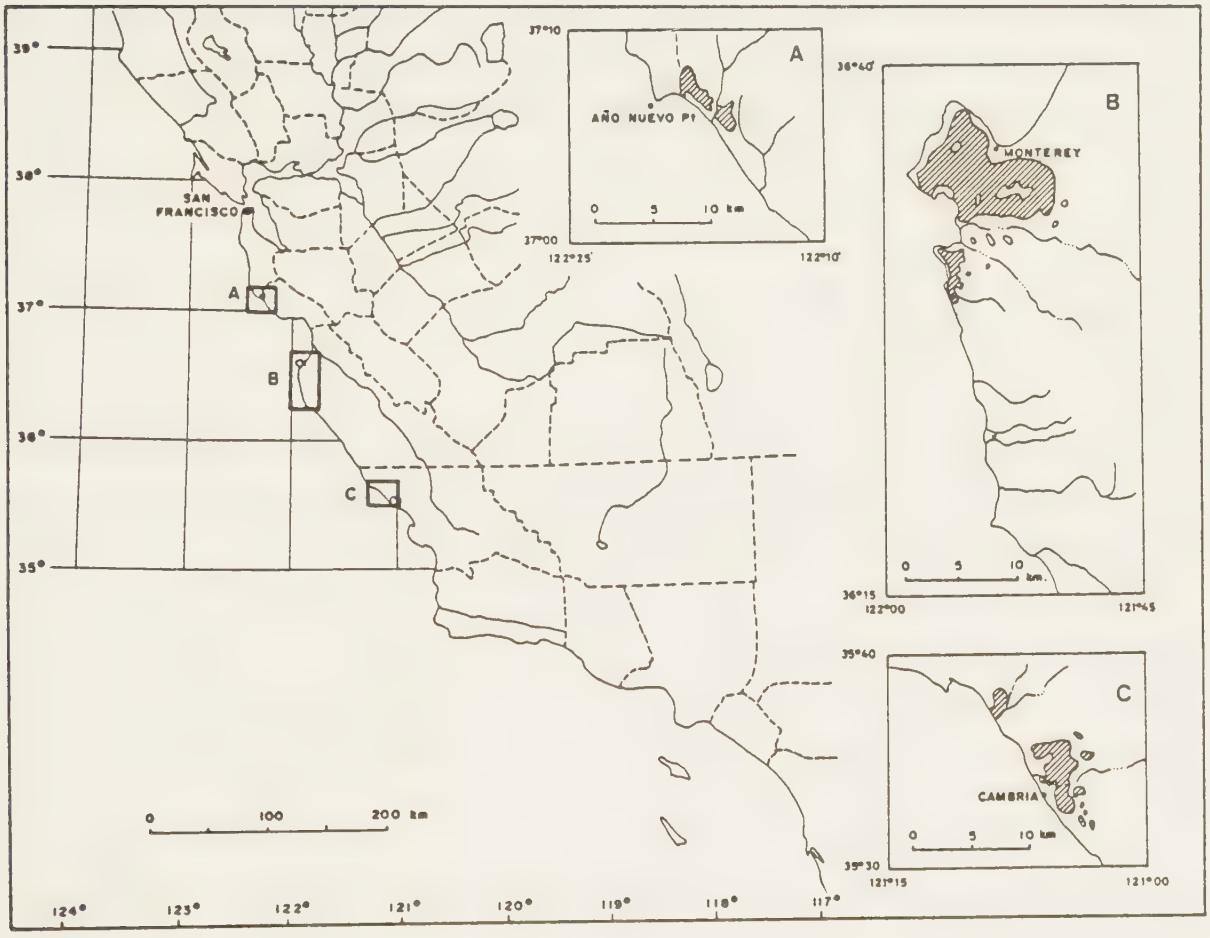


Abb. 1: Natürliches Verbreitungsgebiet (durch Schraffur hervorgehoben) von Pinus radiata in Kalifornien, U.S.A. (nach GRIFFIN und CRITCHFIELD, 1976)

Das Klima dieses Gebietes ist von mittelmeerartigem Charakter mit milden Wintern ohne Schneefall und mit nur wenig Frost. Die Tagesmittelwerte der Lufttemperaturen sinken nicht unter 10 °C. Die Niederschläge, deren mittlere Jahressummen zwischen 375 und 875 mm schwanken, fallen hauptsächlich in den Wintermonaten (Dezember bis März mit ca. 75% der Jahressumme). Im Sommer ist es sehr trocken. Niederschlagsarme Jahre weisen jährliche Regenmengen zwischen 180 und 310 mm auf. Die Trockenheit wird für die Kiefer jedoch durch das Auftreten von Nebel in ihrer Auswirkung gemildert. Die Luftfeuchtigkeit schwankt im Jahresdurchschnitt zwischen 73 und 86 % um fünf Uhr morgens, zwischen 42 und 64 % am Mittag und zwischen 39 und 71 % um fünf Uhr nachmittags (SCHLATTER, 1974).

Die Böden, auf welchen die Kiefer stockt, sind aus verschiedenen Gesteinen gebildet: so kommen z.B. Schiefer, marine und andere Sandsteine, Granitgesteine und Kalksteine vor (SCOTT, 1961). In sandig-lehmigen Böden erreichen die Bäume eine Höhe zwischen 10 und 30 m und einen Brusthöhendurchmesser von 30 bis 80 cm (siehe BUES, 1984).

2.1.2. Künstliche Anbaugebiete

Wegen des raschen Wachstums, ihrer unproblematischen Anzuchtmöglichkeit und einer vielseitigen Verwendbarkeit ihres Holzes wurde die Pinus radiata als ein weitverbreiteter Exotenbaum angebaut.

In der nördlichen Hemisphäre wächst sie erfolgreich in Spanien (Asturien, Galizien und Baskische Provinzen). In der Südhemisphäre (Australien, Neuseeland, Südafrika und Chile) gibt es heute ausgedehnte Pinus radiata Plantagen (Abb. 2). Andere Länder legten Versuchspflanzungen an, wie u.a. Argentinien, Ecuador, Venezuela, Mexico, Kenia, Angola, Lesotho, Malawi, Mosambique, Rhodesien, Portugal, Italien und Israel (GANDULO, 1974; SCHLATTER, 1974; BUES, 1984).

Die Abb. 2 zeigt, daß Chile zu Beginn des Jahres 1984 das Land mit der weltweit größten Fläche an Pinus radiata Plantagen war. Sie betrug 967.000 ha, d.h. 36 % der weltweiten Fläche mit Pinus radiata. Die Anbauflächen von Pinus radiata belaufen sich in Neuseeland auf 857.000 ha

(32 %), in Australien auf 546.000 ha (20 %), in Spanien auf 254.000 ha (10%) und in Südafrika auf 53.000 ha (2%).

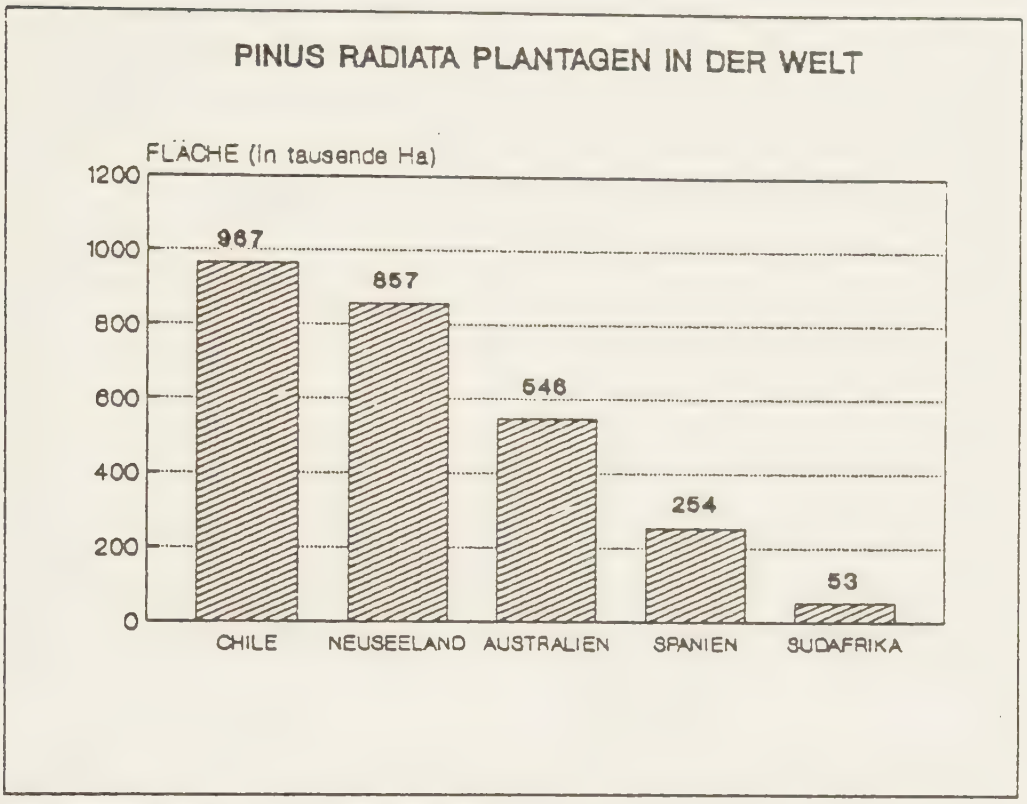


Abb. 2: Länder mit den weltweit größten Flächen an Pinus radiata Plantagen, bezogen auf den Beginn des Jahres 1984 (nach SUTTON, 1986)

Alle diese Länder, außer Südafrika, könnten potentiell die Pinus radiata Plantagenflächen vergrößern. In Südafrika sprechen klimatische Gründe dagegen. In Spanien ist die potentielle Aufforstungsfläche nicht groß und konzentriert sich auf die nördlichen Provinzen. In Australien besteht in der letzten Zeit aus forstwirtschaftlichen Gründen kein Interesse mehr, neue Plantagen mit Pinus radiata anzulegen. Nur Neuseeland und Chile planen, auch in Zukunft die Aufforstungsflächen zu erweitern.

2.1.3. Pinus radiata in Chile

Nach Chile wurde Pinus radiata erstmals am Ende des 19. Jahrhunderts gebracht, und zwar zunächst als Gartenpflanze. Plantagen wurden zwischen den Jahren 1920 und 1940 in der Nähe von Valparaiso (33°05' s.B.) und Pichilemu (34°25' s.B.) begründet. Die ersten Plantagen mit wirtschaftlicher Bedeutung sind zwischen den Jahren 1940 und 1950 in der Concepción Provinz angelegt worden (SCOTT, 1961; STUART, 1976).

2.1.3.1. Regionale Verteilung

Zur Zeit konzentrieren sich die Pinus radiata Plantagen in Chile, verwaltungsmäßig betrachtet, größtenteils zwischen der V. und der X. Region.[1)] Dabei handelt es sich (Abb. 3) um die Zentral Zone (zwischen 32° und 39° s.B.) und die Seen Zone (zwischen 39° und 42° s.B.).

In dieser geographischen Region liegen zwei parallele Gebirgsketten, die das Land von Norden nach Süden durchziehen. Im Osten ist es die Andenkordillere, und im Westen zieht sich nahe des Pazifischen Ozeans die Küstenkordillere hin. Zwischen beiden liegt das Längstal, das sogenannte "Zentral-Tal". Die Pinus radiata Plantagen wurden insbesondere an beiden Hängen der Küstenkordillere und am westlichen Hangfuß der Andenkordillere errichtet. Dagegen wird das Zentral-Tal hauptsächlich landwirtschaftlich und für Siedlungen genutzt.

Die Tab. 1 gibt Auskunft über die Regionalverteilung der Flächen mit Pinus radiata Plantagen in Chile. Das Zentrum des plantagenmäßigen Anbaus befindet sich in den Regionen VII, VIII und IX, die am Ende des Jahres 1984 84,8 % der gesamten Pinus radiata Waldbodenfläche in Chile (1.002.252 ha) aufwiesen (INFOR, 1985).

1) Verwaltungsmäßig ist Chile in 13 Regionen eingeteilt.

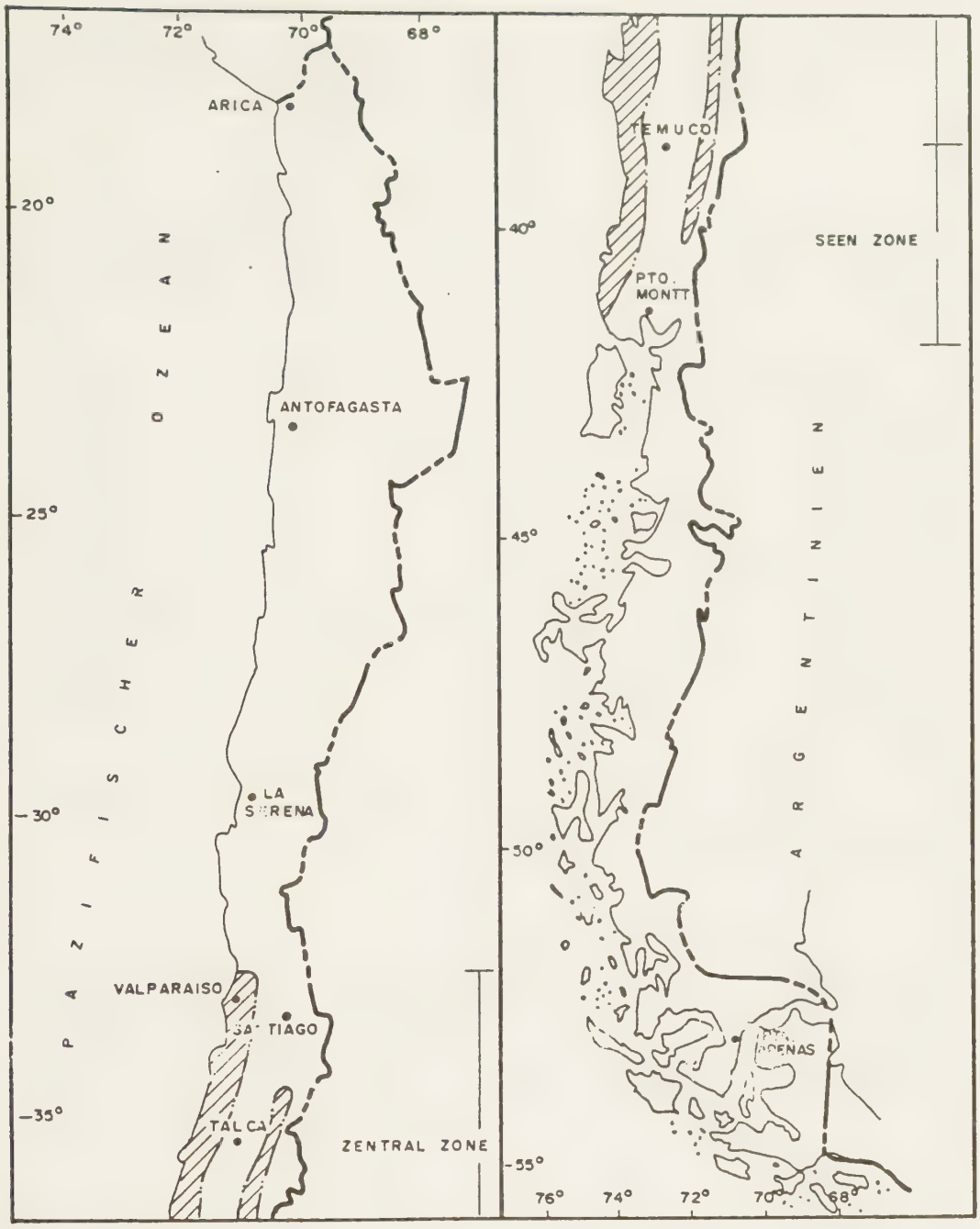


Abb. 3: Lage der größten Anbauflächen von Pinus radiata in Chile (Plantagengebiete sind durch Schaffur kenntlich gemacht)

Die Konzentration der Plantagen auf diese drei Regionen läßt sich durch wirtschaftliche und ökologische Gründe erklären, da sich hier das Zentrum der holzverarbeitenden Industrie befindet, und die besseren ökologischen Bedingungen für den Anbau von Pinus radiata Plantagen vorhanden sind.

Tab. 1: Regionalverteilung der Flächen mit Pinus radiata Plantagen in Chile (Stand: Dezember 1984; aus INFOR, 1985)

REGION	PINUS RADIATA (ha)	ANTEIL DIESER FLÄCHEN AN DER GESAMTEN PLANTAGEN-FLÄCHE (%)
V	23.854	2,38
VI	55.625	5,55
VII	186.118	18,57
VIII	511.550	51,04
IX	152.142	15,18
X	72.864	7,27
andere Regionen	99	0,01
Summe	1.002.252	100,00

2.1.3.2. Wirtschaftliche Bedeutung

In Chile steht die Pinus radiata seit langem an erster Stelle im Aufforstungsprogramm und hat an Bedeutung für den Holzeinschlag nicht nur alle anderen importierten Baumarten, sondern auch den Naturwald bereits übertroffen (SCHLATTER, 1974).

Wie aus der Tab. 2 zu entnehmen ist, war Pinus radiata im Jahr 1986 die wichtigste exotische Baumart mit einer Plantagenfläche von 1.080.491 ha, das entspricht 86,97 % der gesamten Plantagenfläche in Chile von 1.242.315 ha. Den zweiten Rang nehmen Eukalyptus Plantagen mit eine Fläche von 59.435 ha (4,78 %) ein. Der Atriplexgattung sind xerophytische Sträucher, die als Viehfutter in den trockenen Gebieten südlich vom 28° s.B. gepflanzt werden, zuzuordnen. Eine Fläche von 26.294 ha wurde mit dieser Gattung angebaut, was 2,12 % der gesamten Plantagenfläche bedeutet. Prosopis tamarugo ist eine in der Mitte der Atacama Wüste heimische Baumart. Dort war in Zonen mit verfügbaren Wasserakkumulationen in größeren Bodentiefen eine Fläche von 20.585 ha mit dieser Baumart aufgeforstet. Diese Plantagen betrugen 1,66 % der gesamten Plantagenfläche in Chile. Außer den genannten Baumarten bestehen in Chile noch Plantagen mit anderen Gattungen

wie Pseudotzuga menziesii, Populus sp., Prosopis chilensis, Nothofagus sp., Acacia sp., Alnus glutinosa, Cupressus macrocarpa, Pinus sp. und Picea sp.

Tab. 2: Plantagenflächen in Chile, aufgeteilt nach Baumarten mit wirtschaftlicher Bedeutung (Stand: Dezember 1986; nach INFOR, 1986)

BAUMARTEN	PLANTAGENFLÄCHE (ha)
Pinus radiata	1.080.491
Eucaliptus sp	59.435
Atriplex sp	26.294
Prosopis tamarugo	20.585
Pseudotzuga menziesii	11.251
Populus sp	3.234
Prosopis chilensis	3.193
anderen Baumarten	37.832
gesamte Plantagenwaldfläche	1.242.315

Die hervorgehobene Rolle, die Pinus radiata in der chilenischen Forstwirtschaft spielt, wird durch die Angaben in Tab. 3 bestätigt. Sie enthält für den Zeitraum von 1978 bis 1986 Daten über den jährlichen Zuwachs der gesamten Plantagenfläche in Chile und des Anteils der Pinus radiata Flächen.

Aus Tab. 3 kann man ersehen, daß der mittlere Zuwachs der jährlichen Anbaufläche zwischen den Jahren 1978 und 1986 einen Wert von 77.498 ha erreichte. Daran hat Pinus radiata einen mittleren Anteil von 66.788 ha, d.h. 86,2 %. Der mittlere jährliche Zuwachs von Plantagenflächen mit anderen Baumarten betrug 10.711 ha, d.h. 13,8 %. Die großen jährlichen Schwankungen im Zuwachs der Plantagenflächen sind durch politische Gründe zu erklären. Die chilenische Regierung hat in einigen Jahren große staatliche Aufforstungsprogramme mit dem Ziel durchgeführt, die hohe Arbeitslosigkeit im ländlichen Raum zu vermindern.

Tab. 3: Jährlicher Zuwachs der gesamten Plantagenfläche in Chile und des Anteils der Pinus radiata Flächen; Zeitraum: 1978-1986. (nach INFOR, 1986)

JAHR DER AUFNAHME	ZUWACHS AN PLANTAGEN-FLÄCHE (ha)	ANTEIL VON PINUS RADIATA (ha)	%	ANDEREN BAUMARTEN (ha)	%
1978	77.371	65.413	84,5	11.958	15,5
1979	52.226	48.869	93,6	3.357	6,4
1980	72.164	60.086	83,3	12.078	16,7
1981	92.781	88.529	96,0	4.252	4,0
1982	68.586	61.637	89,9	6.949	10,1
1983	76.280	63.884	83,7	12.396	16,3
1984	95.602	76.982	80,5	18.620	19,5
1985	96.278	80.630	83,7	15.648	16,3
1986	66.195	55.058	83,2	11.137	16,8
Summe	697.483	601.088		96.395	
Mittel	77.498	66.788	86,5	10.711	13,5

Im Jahr 1982 bestanden in Chile bereits 90 % des Rundholzaufkommens aus Holz von Pinus radiata. Große Industriezweige stützen sich auf Rohstoffe dieser Kiefer, z.B. die ganze chilenische Zellulose- und Papierindustrie. Im Jahr 1982 lag der Verbrauch an Holz von Pinus radiata bei 6.671.520 m^3 bzw. bei 87,89 % des gesamten Holzverbrauchs.

Chile hat zwischen 33° s.Br. und 43° s.Br. eine Landfläche von etwa 20.000.000 ha, davon gelten 4.850.000 ha als potentielle Aufforstungsfläche (SCHLATTER, 1974). Auf einem großen Teil dieser Fläche könnte man eine intensive, auf dem restlichen Teil eine extensive Forstwirtschaft durchführen, die meistens mit Pinus radiata möglich wäre. Hierfür sind allerdings eingehende Untersuchungen zur umweltabhängigen potentiellen Produktivität von Pinus radiata notwendig, um forstwirtschaftliche Basisinformationen zu schaffen. Die vorliegende Arbeit soll dazu einen Beitrag zur Absicherung künftiger forstwirtschaftlicher Maßnahmen in diesem Raum leisten.

2.2. Untersuchungsgebiet

2.2.1. Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet im Rahmen dieser Arbeit erstreckt sich vom südlichen Ufer des Flusses Aconcagua, etwa bei 32°31' s.B., bis zum nördlichen Ufer des Flusses Río Bueno, ca. 40°24' s.B. Es hat eine durchschnittliche Ost-West Ausdehnung von ca. 50 km. Die Abb. 4 vermittelt einen Überblick über die geographische Lage des Untersuchungsgebietes.

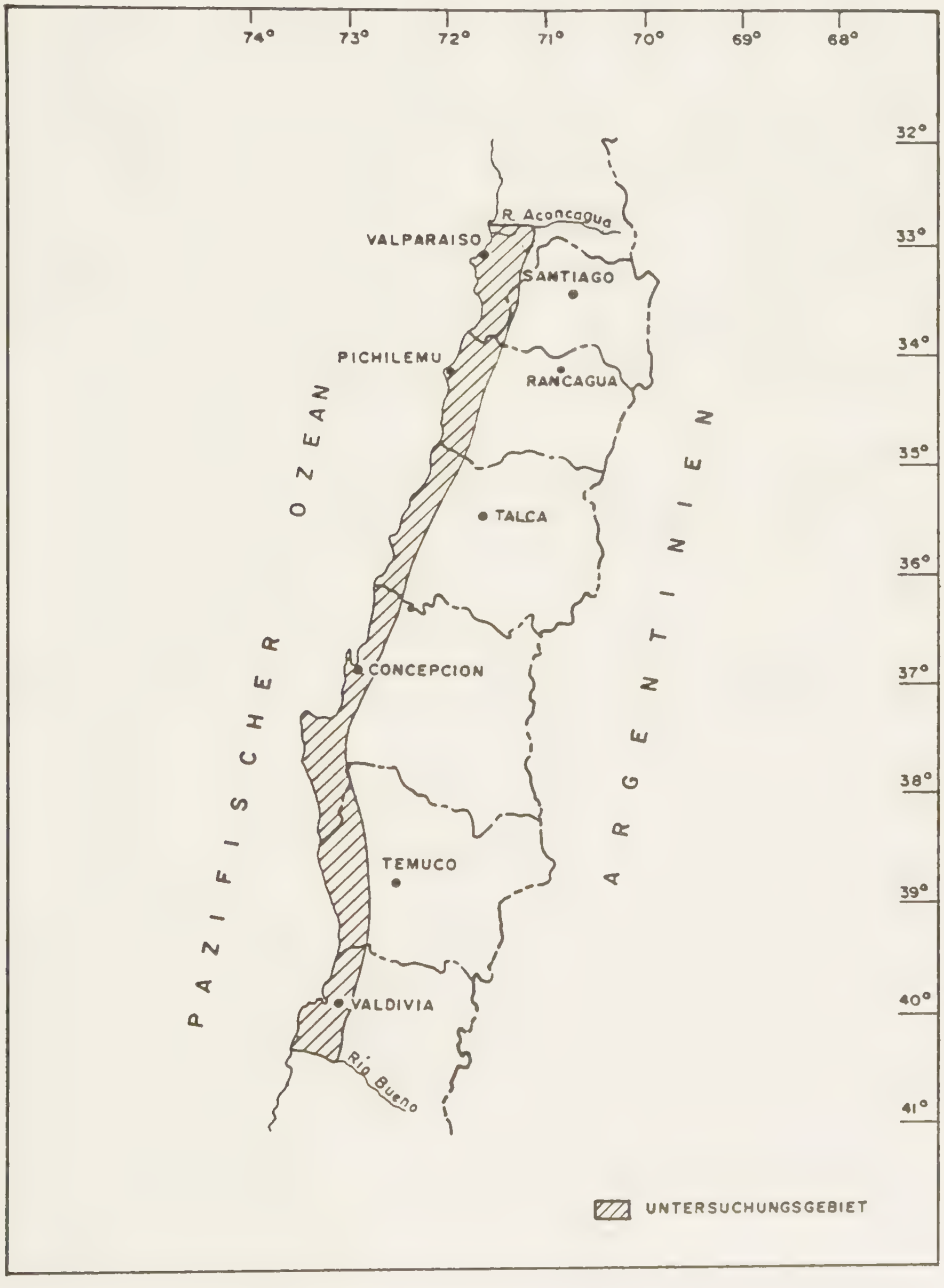


Abb. 4: Geographische Lage des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet weist zwei geomorphologische Kennzeichen auf:

a) die beiden Abhänge der sogenannten "Küstenkordillere", eine Gebirgskette welche die ganze Region von Norden nach Süden durchzieht;

b) in einigen Teilen ein Terrassenland, das sich zwischen der westlichen Seite der Küstenkordillere und dem Pazifischen Ozean erstreckt.

2.2.2. Geologie

Die heutige Morphologie des Untersuchungsgebietes entwickelte sich gegen Ende des Tertiärs. Sie ist durch Inselberge mit ihren Fastebenen (Peneplains) gekennzeichnet. Die Flächen zwischen den Inselbergen wurden teilweise entweder durch vulkanische Materialien oder, wie z.B. im Westen des Untersuchungsgebietes, durch marine Sedimente aufgefüllt. Bei einer sich stark auswirkenden Tektonik wurde im Plio-Pleistozän die Küstenkordillere gehoben (SCHLATTER, 1974). Die Abb. 5 enthält einen Überblick über die geologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet.

Im Küstengebiet gibt es bestimmte Bereiche (zwischen 33°30' und 36° s.B. sowie zwischen 37° und 38° s.B.) mit angehobenen Sedimenten marinen Ursprungs aus dem Tertiär und auch aus der Triasperiode.

Größere granitische Gebiete befinden sich in der Valparaíso Zone (30°30' bis 32° s.B.) sowie zwischen der Provinz Cardenal Caro und der Provinz Arauco (34°30' bis 38° s. B.).

Zwei größere Flächen der Küstenkordillere bestehen aus metamorphen Gesteinen des Präkambiums und Paläozoikums mit hauptsächlich kristallinen Schiefern, wie Glimmerschiefern, Schiefern mit hohen Quarz- und Feldspatanteilen, Amphibolen, Choritschiefern, Gneisen und Phylliten. Die erste Fläche liegt zwischen 34° und den 36° s.B. und die zweite Fläche zwischen 37° und ca. 40°30' s.B.

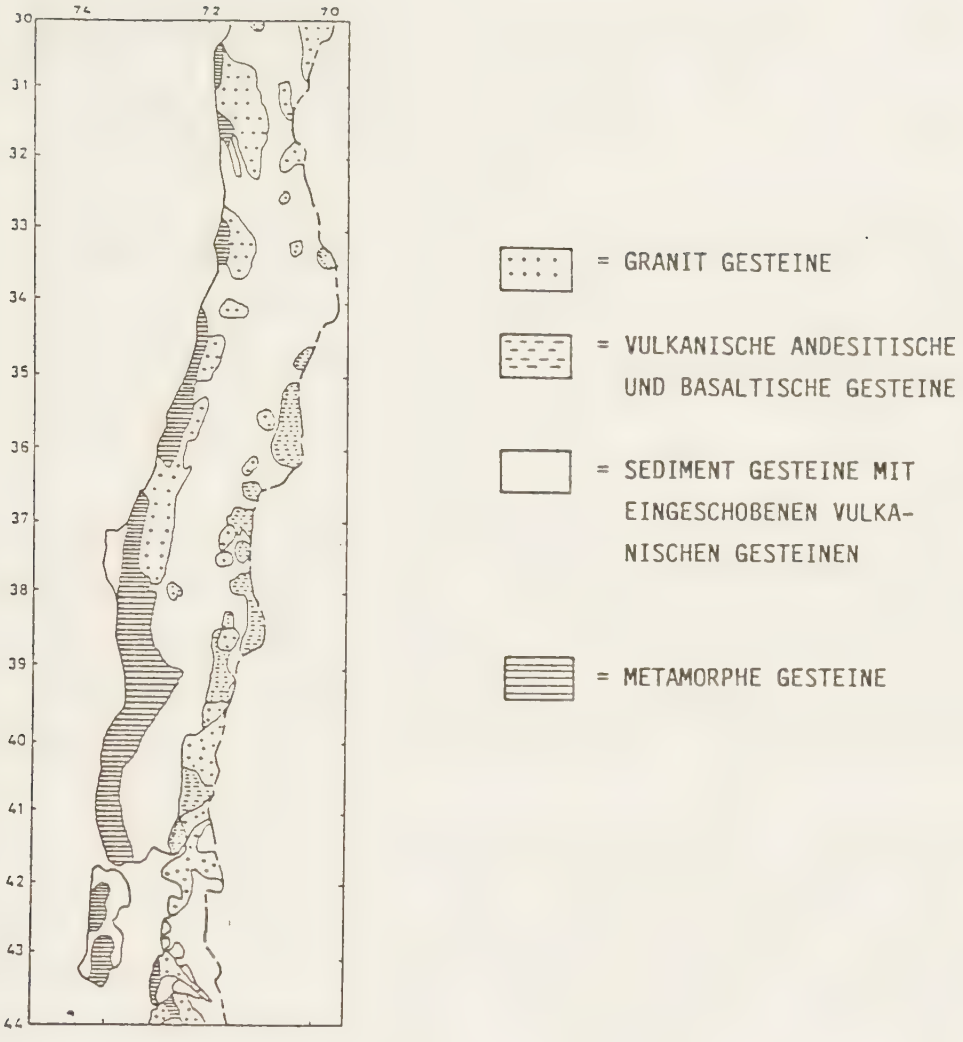


Abb. 5: Auszug aus der Geologischen Karte von Chile (nach DONOSO, 1981)

2.2.3 Böden

Die Variabilität der Niederschlagsmenge in Chile hat auch einen Einfluß auf die Bodenarten. So kann man auf der Basis des Wasserangebots eine Grenze zwischen zwei Gebieten ziehen: Nördlich von 37° s.B. spielt der Niederschlagsmangel eine wichtige Rolle in der Bodengenetik (semiaride Böden). Südlich von 37° s.B. ist immer genügend bzw. reichlich Niederschlag vorhanden, so daß sich feuchte Böden ausbilden können (FUENZALIDA, 1965; SCHLATTER, 1974).

Ganz allgemein lassen sich nach SCHLATTER (1974) in dem Untersuchungsgebiet von Norden nach Süden folgende Veränderungen in den chemischen Bodeneigenschaften feststellen: Mit zunehmendem Niederschlag

- sinken die pH-Werte von 6,0-8,3 auf 4,5-6,0;
- steigt der Gehalt an austauschbarem Wasserstoff und Aluminium;
- steigt der Anteil an organischer Substanz in den Böden;
- nehmen die Fixierungseigenschaft der Böden und ihre Austauschkapazität zu;
- geht der Gehalt an aufnehmbarer Phosphorsäure zurück.

Die Abb. 6 vermittelt einen Überblick über die Bodenklassifizierung des Untersuchungsgebietes. Daraus erkennt man, daß in der Küstennähe, dem Gebiet mit großem ozeanischen Einfluß (höhere Luftfeuchtigkeit und mittleres Niveau der Lufttemperatur), die "Küstenwiesenböden" vorkommen. Wegen der Entwicklung von Gräsern sind diese Böden reich an organischer Substanz.

In den nördlichen Teilen der Küstenkordillere, zwischen 32°30' und 35°30' s.B., treten Verwitterungsböden aus den anstehenden Grundsteinen auf, die "Braune nicht kalkreiche Böden" genannt werden. Sie sind im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Flächen öfters erodiert oder erosionsgefährdet. Man trifft in dieser Region auch undurchlässige Böden sowie Grundwasserböden, Grumosole (vertisolartige Böden), Rendzinen und alluviale Böden an.

Zwischen 35° und 38° s.B. ist das Relief sehr abwechslungsreich. Hier ist eine Übergangszone zwischen "Braunen nicht kalkreichen Böden" und den sich im Süden ausdehnenden "Rotbraunen lateritischen Böden" ausgebildet.

Die zuletzt genannten sind Verwitterungsböden aus Glimmerschiefer, die hauptsächlich in den niedrigeren Lagen Beimengungen von lößartig umgelagerten vulkanischen Aschen in fleckenförmiger Ausbildung enthalten können. Oft werden hier die Böden als Lehmböden bezeichnet (SCHLATTER, 1974).

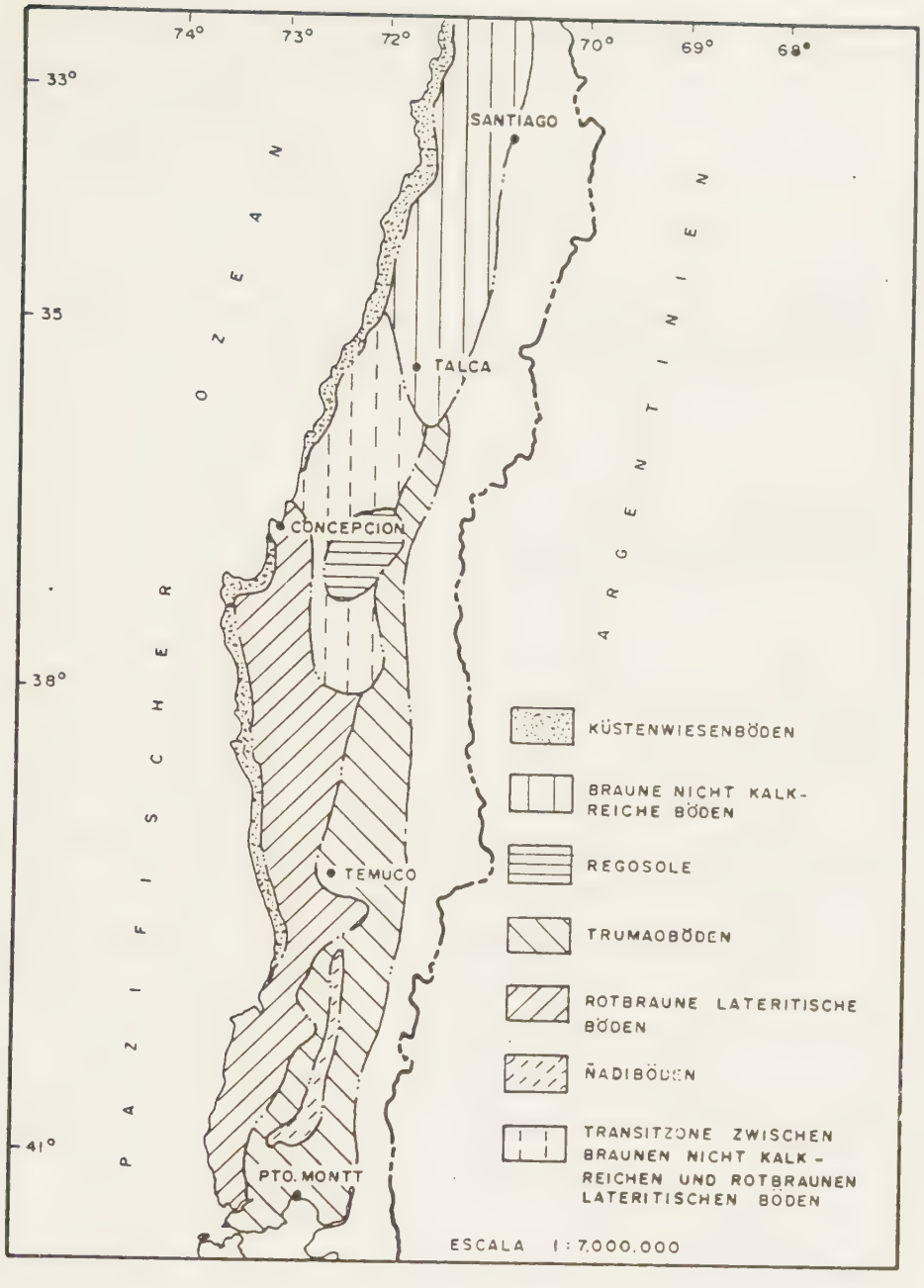


Abb. 6: Bodenklassifizierung des Untersuchungsgebietes (nach DIAZ und ROBERTS, 1959)

In der Abb. 6 sind auch die Verteilungen der Regosole sowie der Ñadi- und Trumaoböden enthalten, die in der Längssenke Chiles liegen. Die letzteren zwei sind vulkanische Aschenböden, die auf stark zementierten glazifluvialen Schottern liegen (DONOSO, 1981; SCHLATTER, 1974).

2.2.4. Klima

Das Klima des Untersuchungsgebiets wurde bereits verschiedentlich bearbeitet.

KNOCH (1930) teilte das Gebiet von Norden nach Süden in zwei große Zonen auf:

a) ein warmes und trockenes Gebiet zwischen der nördlichen Grenze des Untersuchungsgebietes bis 38°30' s.B.;
b) ein regnerisches Gebiet südlich dieser Zone (HUBER, 1975).

WEISCHET (1970) hat ebenfalls das Untersuchungsgebiet untergliedert, wobei er als Einteilungskriterium die monatliche Niederschlagssumme verwendete. Die zwei Zonen sind:

a) eine Region zwischen 34° und 38° s.B. mit sommer-trockenem Subtropen- und unsicherem Winterregenklima;
b) eine immerfeuchte Region südlich von 38° s.B. mit Niederschlagsmaximum im Winter (HUBER, 1975).

Eine Klassifikation auf bioklimatischer Grundlage wurde von Di CASTRI und HAJEK (1976) erstellt: Von Norden nach Süden erstreckt sich das mediterrane Bioklima in der Typenreihenfolge semiarid, subhumid, humid und perhumid. Es reicht bis ungefähr 39° s.B. mit einem südlichen Ausläufer bis Río Bueno und Osorno (40°30' s.B.). Eine Zone ozeanischer Verhältnisse schließt sich südlich an die mediterrane Zone an.

Di CASTRI und HAJEK (1976) haben zahlreiche klimatische Klassifikationen von Chile, hierzu zählen jene von GAUSSEN, WALTER, EMBERGER, THORNTHWAITE und KÖPPEN, kritisch analysiert. Dabei zeigt die Klassifikation nach KÖPPEN eine reelle Übereinstimmung mit den chilenischen ökologischen Lebensgebieten. Die Benutzung dieser Klassifikation wurde auch durch andere Autoren empfohlen, z.B. FUENZALIDA (1971) und DONOSO (1981).

In der Abb. 7 ist die durch FUENZALIDA (1971) leicht modifizierte Klimaklassifikation von KÖPPEN für das Untersuchungsgebiet dargestellt. Danach läßt es sich wie folgt einteilen:

- Im nördlichen Teil des Gebietes herrscht ein warmgemäßigtes Winterregenklima vor mit einer Trockenperiode zwischen 7 und 8 Monaten pro Jahr (Csb1 Klima). Es erstreckt sich bis ca. 35° s.B. mit einem südlichen Ausläufer zwischen 36° und 37°30' s.B. auf der Leeseite der Küstenkordillere.

- Es folgt eine Zone mit Csb2 Klima, die das gleiche warmgemäßigte Winterregen-Charakteristikum zeigt, aber mit einer jährlichen Trockenperiode zwischen 4 und 6 Monaten. Diese Zone breitet sich bis ca. 38° 20' s.B. aus.

- Die Zone mit dem Csb3 Klima gleicht klimatisch in etwa den beiden anderen schon genannten Gebieten, hat aber eine jährliche Trockenperiode von maximal nur 4 Monaten. Dieses Gebiet erstreckt sich vom südlichen Ende des Gebietes mit CSb2-Klima bis ungefähr 39° s.B. mit südlichen Ausläufern zum Río Bueno und Osorno (40°30' s.B.).

- Die letzte Zone hat ein Cfsb Klima, d.h. ein warmgemäßigtes immer feuchtes Regenklima, aber mit einer mediterranen Tendenz, d.h. die Niederschlagsmenge zeigt eine signifikante Verminderung in den Sommermonaten.

Das Untersuchungsgebiet weist nach FUENZALIDA (1965, 1971) die folgenden klimatischen Eigeschaften auf:

a) thermische Homogenität;
b) an keinem Ort ist eine starke Kontinentalität festzustellen;
c) die Isothermen verlaufen primär in Nord-Süd-Richtung, und zwar wegen der Einflüsse des Meeres und der gegebenen Reliefverhältnisse;
d) durch den kalten Humboldtstrom und die vorherrschenden Westwinde ist an der chilenischen Küste die Lufttemperatur im allgemeinen niedriger, als man von der geographischen Breite erwarten könnte;
e) die Isohyeten verlaufen hauptsächlich in Richtung Nordost-Südwest;
f) in der ganzen Region fallen die Niederschläge vor allem als Winterregen, und es herrscht hier ein südhemisphärisches Subtropenklima.

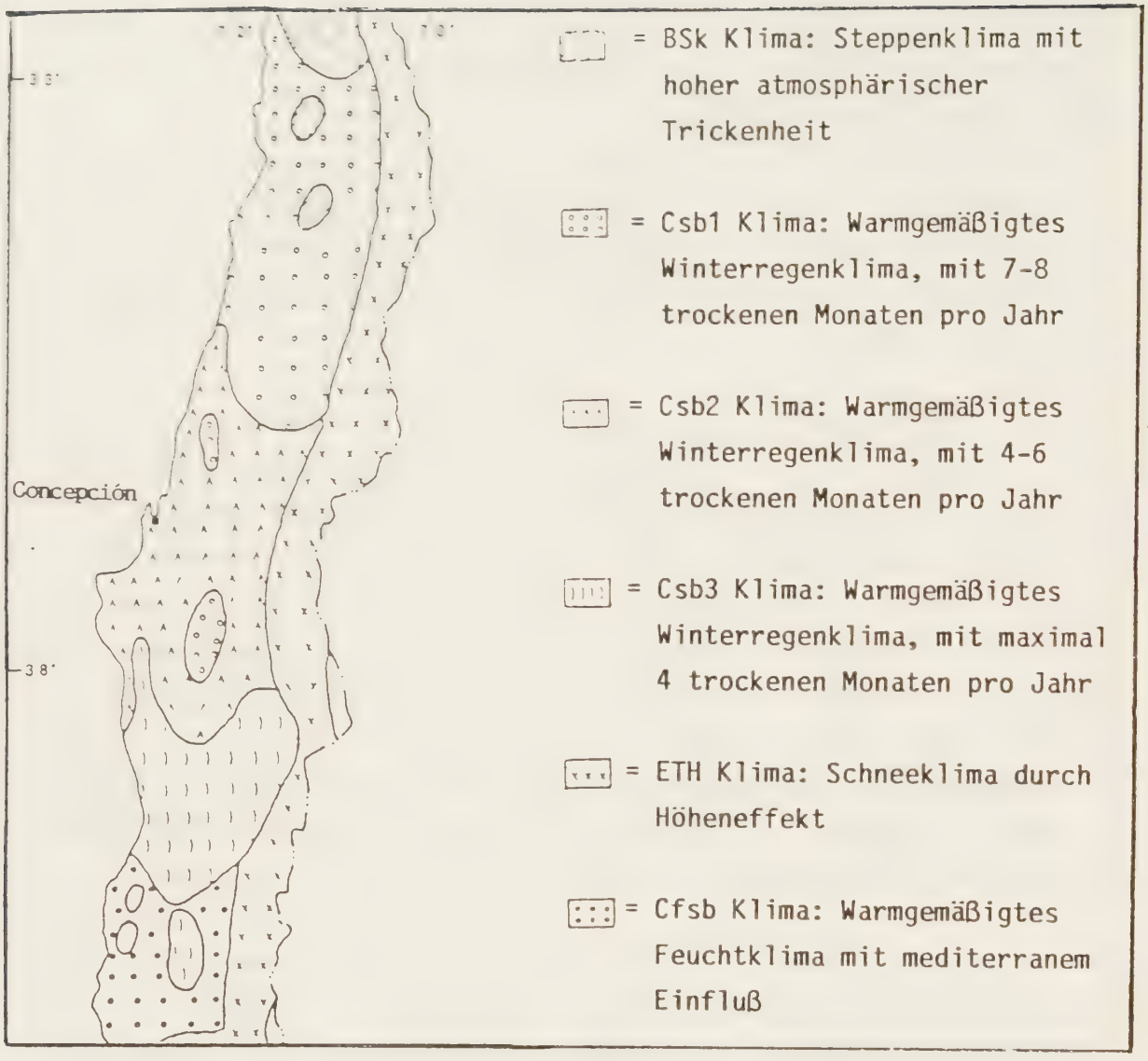


Abb. 7: Klimaklassifikation nach Köppen für das Untersuchungsgebiet und die Umgebung, modifiziert von FUENZALIDA (1971); nach DONOSO (1981)

HUBER (1971) hat in seiner Untersuchung "Beitrag zur Klimatologie und Klimaökologie von Chile" die Verteilung von verschiedenen klimatologischen Parametern in Karten dargestellt (Abb. 8 bis 11).

Daraus zeigt die Abb. 8 für das Untersuchungsgebiet die mittlere jährliche Verteilung der mit Berücksichtigung der Bewölkung bestimmten Globalstrahlungssumme auf eine horizontale Fläche. Die Werte liegen zwischen ca. 120 kcal/cm²a (158 W/m²) im Norden und ca. 90 kcal/cm²a (119 W/m²) im

Süden. Diese Abnahme der Globalstrahlung ist durch das Ansteigen der Bewölkung und die Reduzierung der Intensität der Sonnenstrahlung im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes zu erklären.

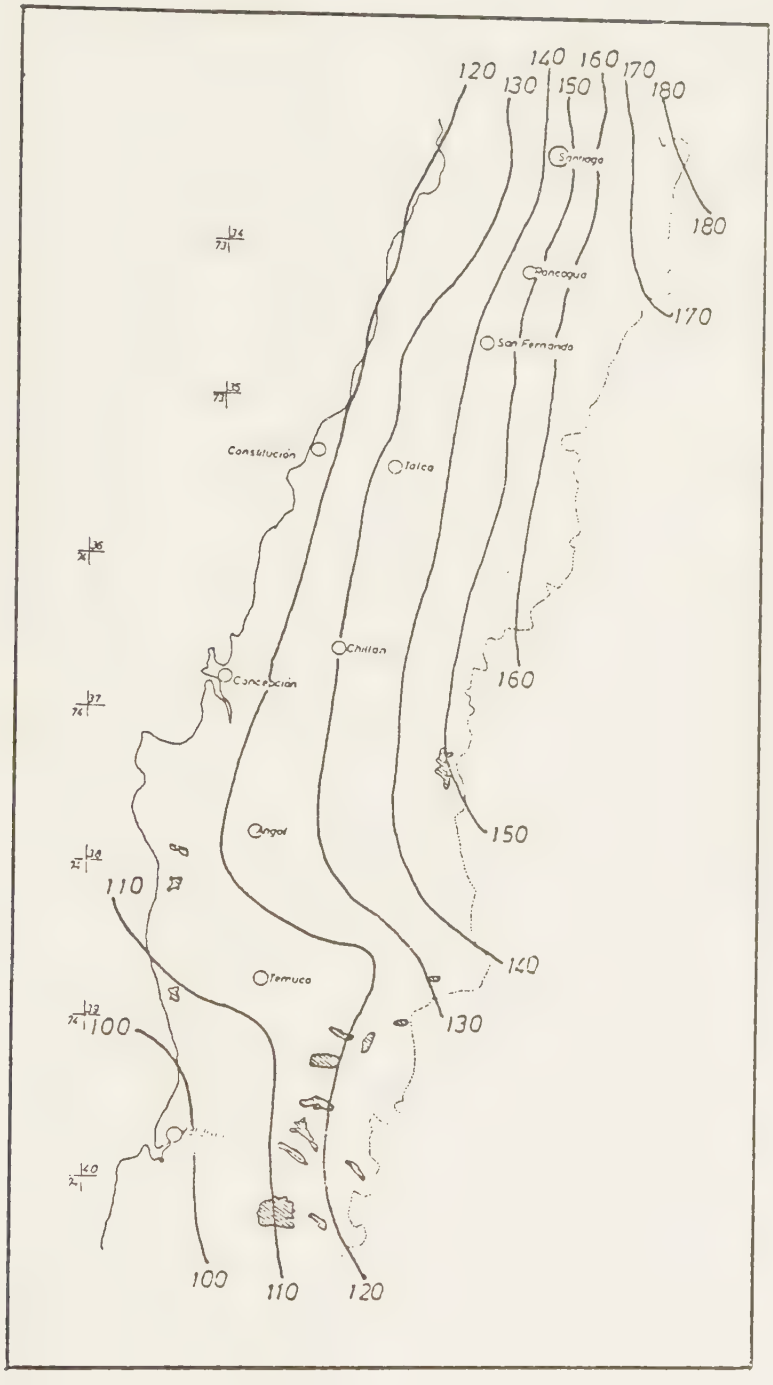


Abb. 8: Mittlere Jahressumme (in kcal/cm²a) der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche unter Berücksichtigung der Bewölkungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet (nach HUBER, 1975)

1 kcal/cm² = 1,327 W/m²

Beim Verlauf der mittleren jährlichen Isothermen (Abb. 9) stellt man fest, daß der größte Teil des Küstengebietes relativ kühl und thermisch homogen ist. Von 32° bis 42° s.B., d.h. zwischen zehn Breitengraden, nimmt die mittlere jährliche Lufttemperatur in südlicher Richtung nur um 3 K (zwischen 14°C und 11°C) ab.

Abb. 9: Mittlere jährliche Lufttemperatur (in °C) im Untersuchungsgebiet (nach HUBER, 1975)

Eine Übersicht über die mittlere jährliche Niederschlagssumme im Untersuchungsgebiet enthält die Abb. 10. Man erkennt eine beachtliche Variabilität der Niederschlagssumme.

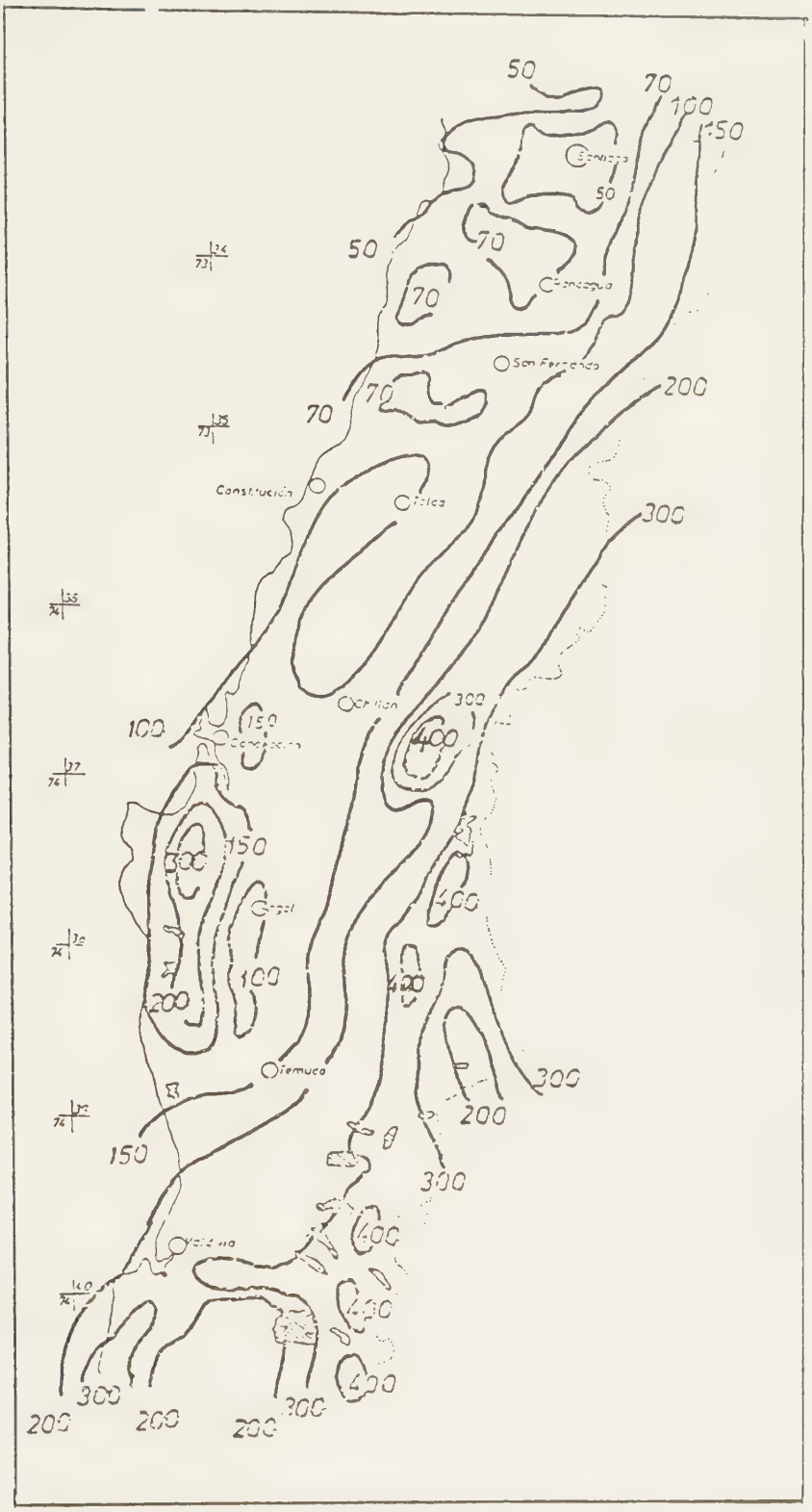


Abb. 10: Mittlere jährliche Niederschlagssummen (in cm) im Untersuchungsgebiet (nach HUBER, 1975)

Im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes befindet sich eine semiaride Zone, in der im Jahresmittel nur 500 mm Niederschlag fallen. Dagegen liegt in der südlichen Breitenzone die mittlere jährliche Niederschlagssumme bei mehr als 3000 mm.

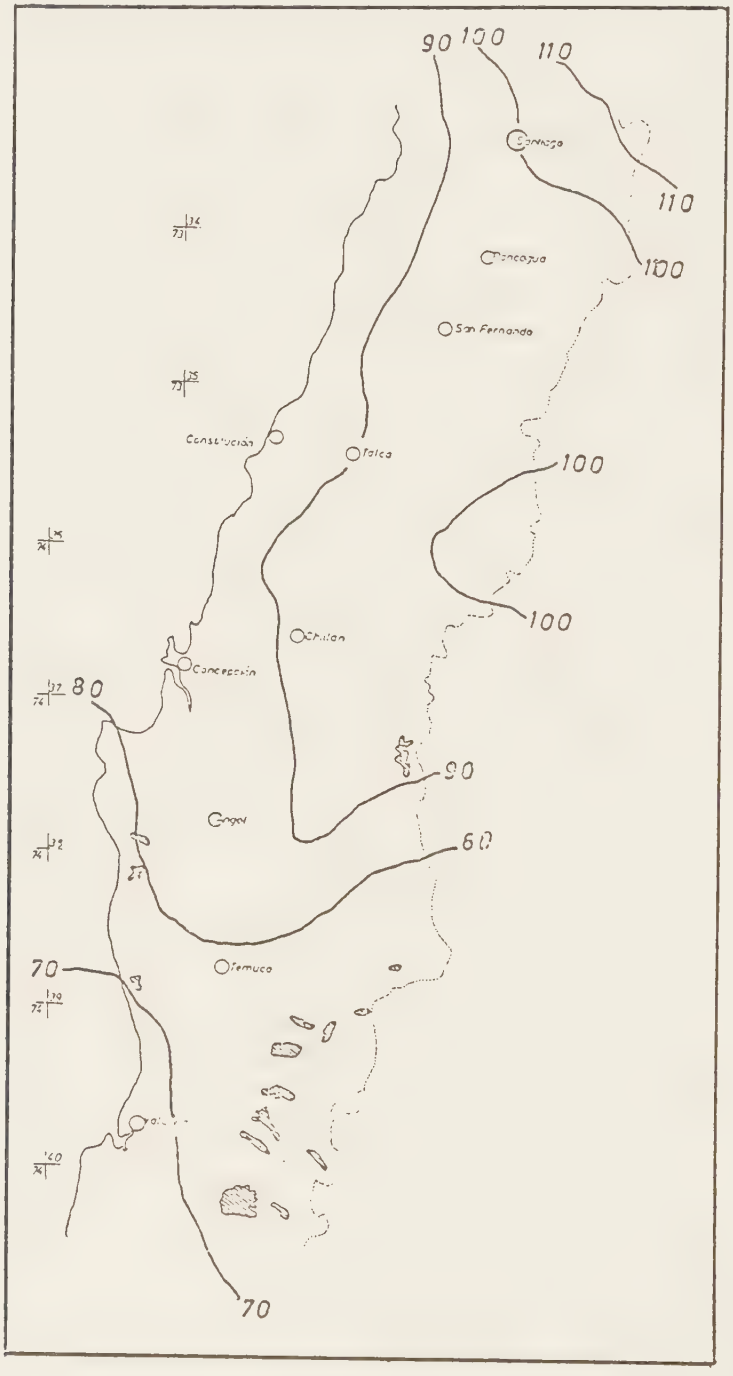


Abb. 11: Mittlere jährliche potentielle Verdunstungshöhe (in cm) im Untersuchungsgebiet (nach HUBER, 1975)

Die Niederschlagshöhe wird sowohl von der geographischen Breite als auch durch das Relief bestimmt. Dort, wo die Küstenkordillere große Höhen erreicht, werden auf ihrer Leeseite niedrigere Niederschlagsmengen als auf ihrer westlichen Seite gemessen.

Die Abb. 11 zeigt die Verteilung der mittleren jährlichen potentiellen Verdunstungshöhe an, die über die Benutzung der TURC Formel bestimmt worden ist. An der Küstenkordillere verändern sich die mittleren jährlichen potentiellen Verdunstungshöhen in nördlicher Richtung von ca. 65 bis 90 cm. Der Verlauf der Isolinien wird hauptsächlich durch die Verteilung von Lufttemperatur und Globalstrahlung gesteuert.

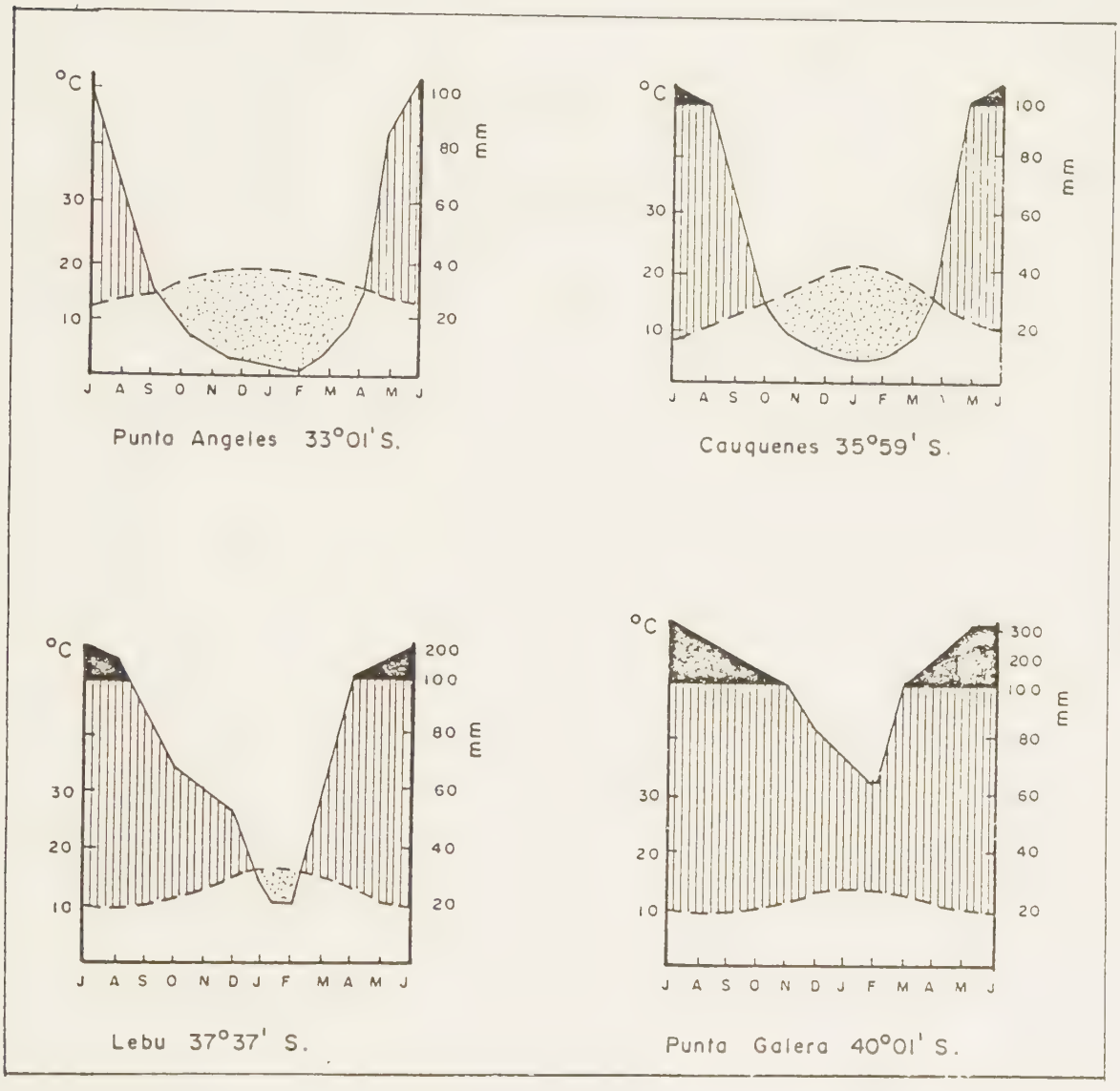


Abb. 12: Klimadiagramme von GAUSSEN-WALTER für verschiedene Orte im Untersuchungsgebiet (nach Di CASTRI und HAJEK, 1976)

Außer den genannten klimatologischen Parametern sind für das Pflanzenwachstum auch Angaben über die Länge der Trockenperiode von entscheidender Bedeutung. Die Abb. 12 enthält in diesem Zusammenhang für vier verschiedene Orte im Untersuchungsgebiet Klimadiagramme von GAUSSEN-WALTER.

Man kann daraus deutlich erkennen, daß die Länge der Trockenperiode mit abnehmender geographischer Breite größer wird, und zwar von keiner Trockenperiode in Punta Galera (40°01' s.B.) bis zu ca. 8 Monaten in Punta Angeles (33°01' s.B.). Die Diagramme in Abb. 12 zeigen auch, wie mit zunehmender geographischer Breite die mittleren monatlichen Lufttemperaturen und die mittleren monatlichen Niederschlagssummen homogener werden.

3. ARBEITSMETHODEN UND DATENAUSWERTUNG

3.1. Arbeitsmethoden

Die in dieser Arbeit angewandte Methodik ist schematisch in der Abb. 13 dargestellt.

Um die drei Ziele, die im 1. Kapitel näher erläutet sind, zu erreichen, wurden in der Methodik zwei Wege beschritten. Einerseits wurde die Produktivität von Pinus radiata Bäumen und Beständen über die "Harvest Methode" bestimmt, und andererseits wurde die potentielle Produktivität von Pinus radiata in Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen berechnet (Abb.13).

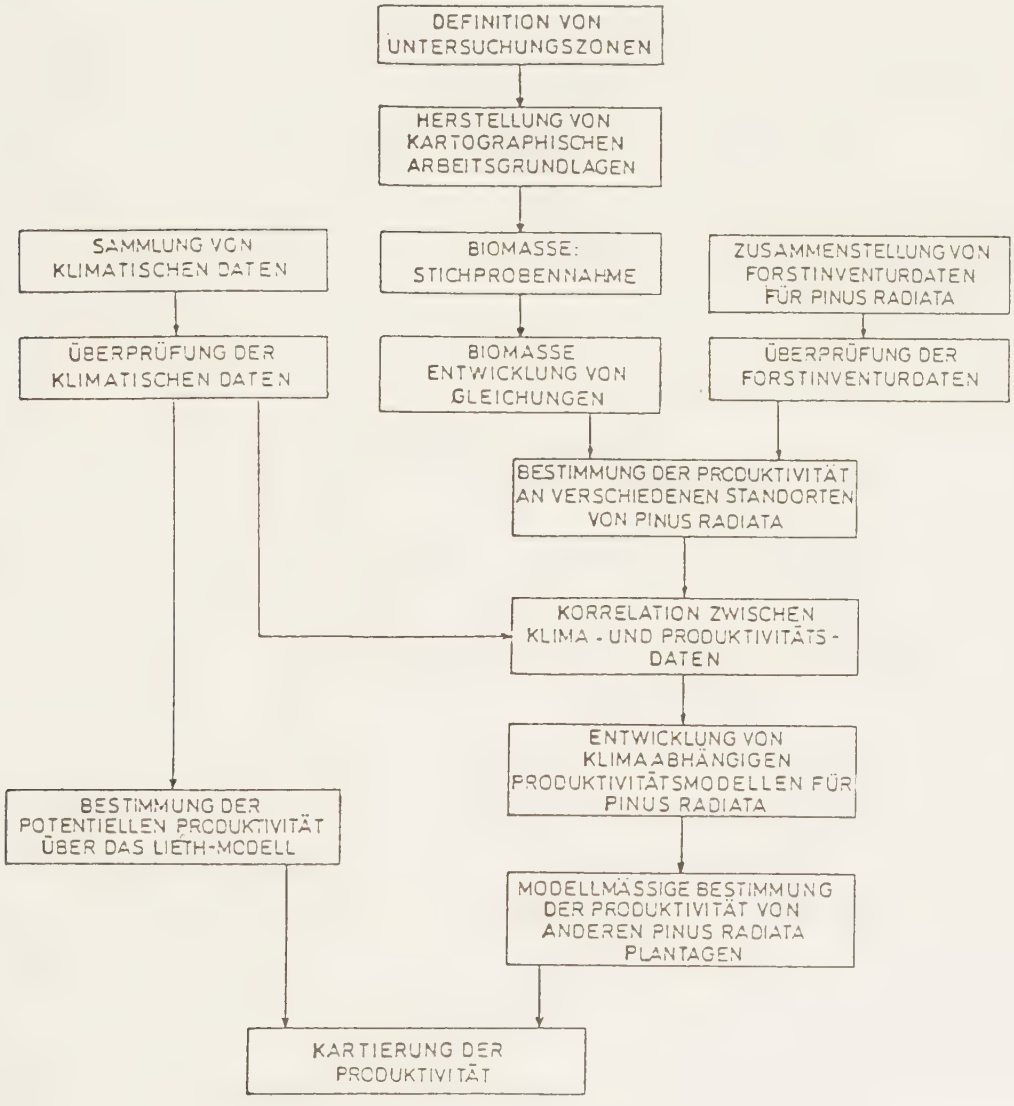


Abb. 13: Schematische Darstellung der Untersuchungsmethode

3.1.1. Definition von Untersuchungszonen

Um Geländestichprobeneinheiten zu erhalten, wurde (a priori) das gesamte Untersuchungsgebiet, das sich zwischen der V. und der X. Region Chiles erstreckt, in sieben verschiedene Zonen eingeteilt (Tab. 4). Das Kriterium für diese Einteilung war, daß sich jede dieser Zonen klimatisch von den anderen unterscheidet und zwar insbesondere in den jährlichen Niederschlagssummen.

Tab. 4: Aufteilung des Untersuchungsgebietes in sieben Stichprobenzonen

Name	Gemeinde	Provinz	Region	geogr. Breite	geogr. Länge.
PENUELAS	VALPARAISO	VALPARAISO	V	33°08'S	71°32'W
PICHILEMU	PICHILEMU	CARDENAL CARO	VI	34°23'S	71°58'W
EMPEDRADO	EMPEDRADO	MAULE	VII	35°37'S	72°15'W
ARAUCO	ARAUCO	ARAUCO	VIII	37°26'S	73°18'W
NACIMIENTO	NACIMIENTO	BIO-BIO	VIII	37°28'S	72°46'W
P.SAAVEDRA	CARAHUE	CAUTIN	IX	38°36'S	73°21'W
VALDIVIA	MARIQUINA	VALDIVIA	X	39°32'S	72°59'W

3.1.2. Herstellung von kartographischen Arbeitsgrundlagen

Auf der Grundlage der geographischen Karte, Maßstab 1:250.000, vom "INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR DE CHILE" wurden drei Karten für jede Region des Untersuchungsgebietes erstellt:

- eine Reliefkarte;
- eine Karte mit Inventurdaten und Angaben zur Biomasseproduktion von Pinus radiata;
- eine rastermäßige Karte mit klimatischen Referenzpunkten.

3.1.3. Bestimmung der Biomasse von Pinus radiata Bäumen und Beständen

Aufgrund von anderen Untersuchungen hat sich die "Harvest-Methode" für die Analyse von forstlichen Produktivitätsbeziehungen als sehr zweckmäßig herausgestellt. Mit dieser Methode kann die gesamte Biomasse von Bäumen über die Wägung von ganzen Bäumen oder Teilen davon und der späteren Korrelation dieser Gewichte mit den Stammassen bestimmt werden. Als Probenahmen sollen Bäume aus der gesamten Durchmesserverteilung in den Versuchsflächen gewählt werden (NEWBOULD, 1967; v. DROSTE, 1969; v. LAAR, 1973; SATOO, 1973; MADGWICK und JACKSON, 1974; WEBBER und MADGWICK, 1983; MEAD et al., 1984; FREDERICK et al., 1985; PRETZSCH, 1985; BEADLE und TURNBULL, 1986). Bei der Verwendung von logarithmischen Skalen ist es möglich, lineare Funktionen zu erreichen. Das ist die sogenannte "Allometrische Methode" (BASKERVILLE, 1972; BEAUCHAMP und OLSON, 1973; MADGWICK, 1973; SATOO, 1973; MADGWICK und SATOO, 1975; WHITTAKER und MARKS, 1975; FLEWELLING und PIENAAR, 1981; YANDLE und WIANT, 1981).

In der vorliegenden Untersuchung wurden beide Methoden, die "Harvest - Methode" und die "Allometrische Methode", benutzt, um die Biomasse von Pinus radiata Bäumen und Beständen zu bestimmen.

3.1.3.1. Auswahl von geeigneten Probebeständen

Die ausgewählten Bestände mußten folgende Bedingungen erfüllen:

- großräumige und zugleich lokale Repräsentativität für die gesamte Waldfläche in der jeweiligen Zone;
- alle Bestände in einer bestimmten homogenen Zone mußten auf der gleichen Bodenart stocken;
- die Bestände mußten einen guten Vitalitätszustand haben;
- die Bestände sollten eine Dichte von ca. 2.000 Bäumen/ha und keine Waldbaubehandlung (Düngung, Durchforstung, Ästung u.a.) haben;
- die Bestände sollten auf Böden bester Bonität in der Stichprobenzone wachsen;
- die Bestände mußten erste Umtriebszeitplantagen sein.

Insgesamt wurden 19 Probebestände ausgewählt; sie sind in der Tab. 5 dokumentiert.

Tab. 5: Geographische Verteilung der Pinus radiata Probebestände und Probebäume

Untersuchungs-zonen	Anzahl der Probebestände	Anzahl der Probebäume
Valparaíso	2	20
Pichilemu	3	30
Empedrado	6	49
Arauco	2	14
Nacimiento	1	11
P. Saavedra	3	28
Valdivia	2	20
SUMME	19	172

3.1.3.2. Auswahl von geeigneten Probebäumen

In jedem Probebestand wurden zwei Parzellen (Versuchsflächen) mit einer Größe von 20 m * 25 m angelegt. Alle Bäume in den Parzellen wurden numeriert, und ihre Brusthöhendurchmesser (BHD) mit der Kluppe auf mm-Genauigkeit gemessen.

Zwischen Januar 1985 und Februar 1988 wurden 119 Probebäume aus Valparaíso, Pichilemu, Empedrado und Valdivia vom Autor mit Unterstützung durch Studenten und 53 Probebäume von Arauco, Nacimiento und Puerto Saavedra von Forschern des "Instituto Forestal-Chile" aufgenommen und ausgewertet. Die Tab. 5 gibt Auskunft über die geographische Verteilung der Probebäume.

Die morphologischen Merkmale und die Biomassewerte von allen oberirdischen Baumorganen der Probebäume sind im Anhang I zusammengestellt. Als Auswahlkriterium für die Probebäume diente das gesamte Spektrum der BHD-Verteilung, insbesondere das der herrschenden und mitherrschenden

Bäume. Nochmals wurde überprüft, ob die Probebäume einen guten Vitalitätszustand und keine strukturelle Verschlechterung, z.B. Zwieselbäume, aufwiesen.

Das unmittelbar benachbarte Umfeld der Probebäume wurde als Biogruppe genommen (PRETZSCH, 1985). Die Aufnahme umfaßte:

- Vermessung der Lage der Biogruppe;
- Messung von Entfernung und Richtung der Biogruppenbäume zu den Probebäumen;
- Erfassung von BDH, Höhe, Kronenansatzhöhe und 4 Kronenradien von Bäumen in der Biogruppe; bei den Probebäumen wurden 8 Kronenradien gemessen.

3.1.3.3. Bestimmung der Biomasse von Probebäumen

Die verwendete Methode zur Bestimmung der Biomasse von Probebäumen ist in der Abb. 14 schematisch dargestellt. Die Laborarbeiten sind in Santiago ausgeführt worden.

Die Probebäume wurden gefällt, und ihre Kronenansatzhöhe und Baumlänge auf cm-Genauigkeit erhoben. Dann wurden, quirlförmig bis zur Baumspitze vorgehend, alle toten und grünen Äste laufend numeriert. Sodann wurden systematisch die Ansatzhöhe, die Länge und der Durchmesser (gemessen mit einer Schublehre bei 2,5 cm Entfernung vom Schaft) aller Äste erfaßt.

Die Gewichtsgrößen der Äste wurden stichprobenartig über eine Regressionsanalyse aus Astansatzhöhe, Länge und Durchmesser der Äste ermittelt. Von jedem der Probebäume wurden mindestens 5 tote und 10 grüne Äste zerlegt, in Papiertüten verpackt und in frischem Zustand ins Labor gebracht. Zur Bestimmung ihrer Trockenmasse wurden sie im Trockenofen bei 70 °C bis zur Gewichtskonstanz gedarrt. Die Nadeln wurden von den Probeästen abgelöst und getrennt gewogen. Insgesamt wurden 372 tote Äste und 900 grüne Äste aufgenommen.

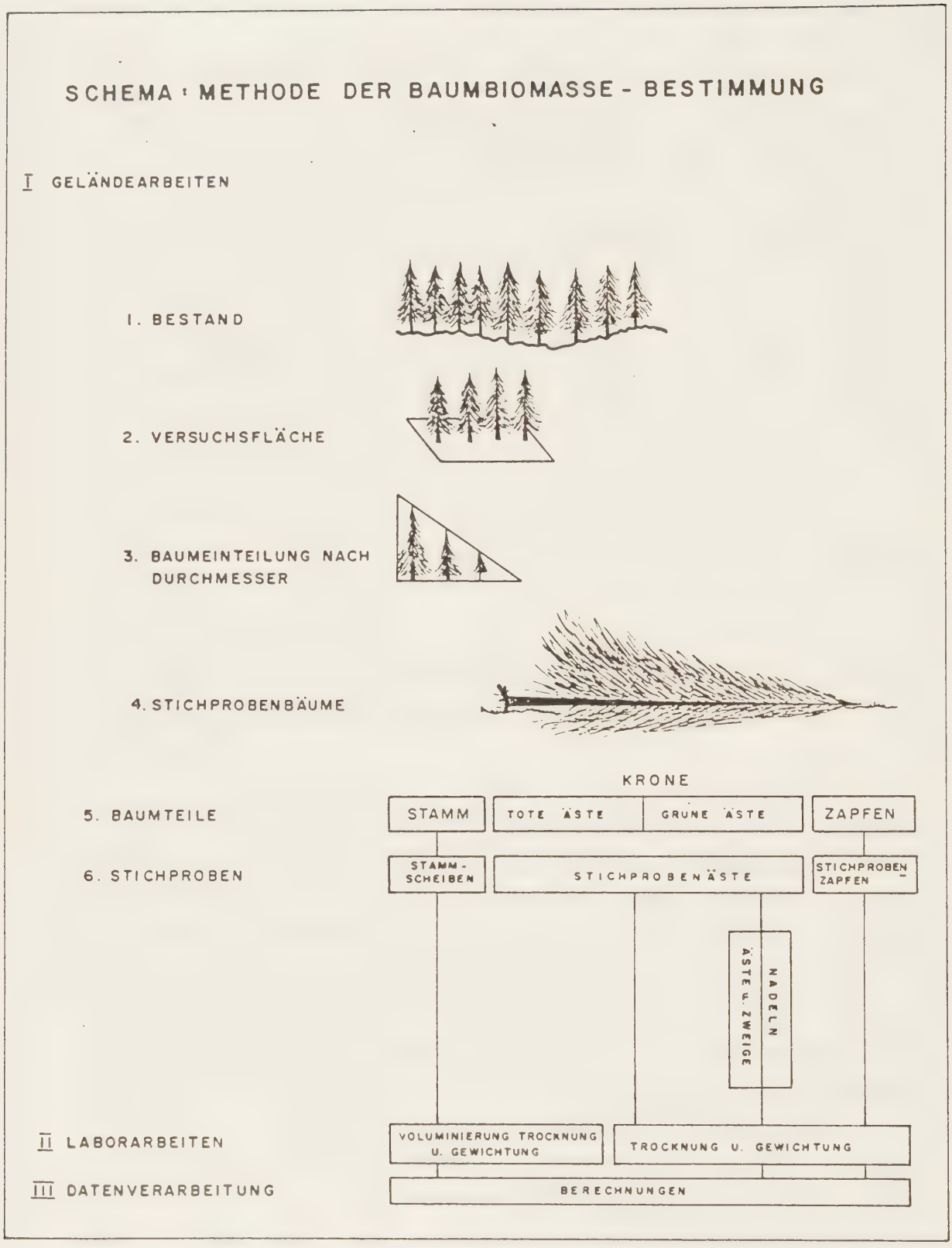


Abb. 14: Schematische Darstellung der Methode zur Bestimmung der Biomasse von Probebäumen

Um die Nadeloberflächen zu bestimmen, wurden 192 grüne Äste als Probeäste ausgewählt. An jedem dieser Äste wurden 100 Nadeln ausgezählt. Die Oberflächenbestimmungen von 50 frischen Nadelstichproben wurden durch die Benutzung eines Digitaloberflächenmessers (LICOR) erreicht. Dann wurden die Nadeln getrocknet und auf 0,001 g-Genauigkeit gewogen.

Um die Stammgewichte zu bestimmen, sind Stammscheiben in den Baumhöhen 0,30; 1,00; 1,30; 2,00 m und dann in 1 m-Schritten bis zur Baumspitze entnommen worden. Die Scheiben wurden bezeichnet, in Nylontüten verpackt und ins Labor gebracht. Dort wurden sie voluminiert und getrocknet, d.h. im Trockenofen bei 70 °C bis zur Gewichtskonstanz gedarrt. Für jede Stammscheibe ist ihre Dichte (g/cm^3) berechnet worden. Das gesamte Stammgewicht wurde als die Summe von allen Stammabschnittsgewichten berechnet. Für die Gewichtsbestimmung jedes Stammabschnittes wurden die Smalian-Stammabschnittsvolumen - Formel (HUSH, 1963) und der mittlere Wert der Dichte der beiden Stammscheiben, die den Stammabschnitt begrenzen, benutzt.

Für Schaftanalysen wurden Scheiben von 70 Probebäumen genommen. Die Jahrringanalysen wurden mit einer Schublehre in den zwei Haupthimmelsrichtungen von der Rinde bis zum Mark gemessen.

Für die Zapfenstichprobe wurden von 148 Bäumen jeweils 10 % der gesamten Zapfenanzahl pro Baum verwendet, in Papiertüten verpackt und ins Labor gebracht. Sie wurden im Trockenofen bei 70 °C bis zu Gewichtskonstanz gedarrt.

Die Summe der im Labor bestimmten Gewichte von Stamm, Zapfen, grünen Ästen und toten Ästen ergab das gesamte Baumtrockengewicht von jeder Baumprobe.

3.1.3.4. Bestimmung der Biomasse von Probebeständen

Voruntersuchungen zeigten, daß die Gewichtsgrößen eines Baumes eng mit seinen biometrischen Parametern, die leichter meßbar sind, korreliert sind (BAKER und STEWART, 1984; GARY, 1976; MADGWICK, 1981 und 1983; MADGWICK und OLIVER, 1985; MEAD et al., 1984). Diese Zusammenhänge wurden benutzt, um Schätzfunktionen für die verschiedenen Baumorgane zu entwickeln und die Bestandsbiomasse abzuleiten.

3.1.4. Bestimmung der potentiellen Produktivität von Pinus radiata Plantagen

Um die potentielle Produktivität von Pinus radiata Beständen zu bestimmen, wurden die klimatologischen und ertragskundlichen Daten korreliert.

3.1.4.1. Klimatologische Daten

Die klimatologische Datenbank des "Laboratorio de Climatologia" der Land- und Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universidad de Chile, das klimatologische Daten in einem 5 Minuten-Gitternetz zur Verfügung hat, wurde zur klimatischen Charakterisierung des Untersuchungsgebietes benützt.

Dabei wurden folgende langjährigen Mittelwerte von geprüften Daten verwendet:

1. Mittlere maximale Lufttemperatur im Januar (°C)
2. Mittlere minimale Lufttemperatur im Januar (°C)
3. Mittlere maximale Lufttemperatur im Juli (°C)
4. Mittlere minimale Lufttemperatur im Juli (°C)
5. Mittlere tägliche Globalstrahlungssumme im Januar (ly/d)
6. Mittlere tägliche Globalstrahlungssumme im Juni (ly/d)
7. Mittlere Luftfeuchtigkeit im Januar (%)
8. Mittlere Luftfeuchtigkeit im Juli (%)
9. Niederschlagssumme (mm) von Januar bis März (= Sommerniederschlag)
10. Niederschlagssumme (mm) von Juni bis August (= Winterniederschlag)
11. Jährliche Niederschlagssumme (mm)

12. Jährliche potentielle Evapotranspiration (mm)
13. Jährliches hygrisches Defizit[1] (mm); entspricht der klimatischen Wasserbilanz
14. Jährliche Summe der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur > 10 °C (Gradtage)
15. Jährliche Summe der Stunden mit Mittelwerten der Lufttemperatur < 7 °C
16. Jährliche Anzahl der Tage ohne Frost, d.h. frostfreie Periode
17. Sommerfeuchtigkeitsindex[2] für den Zeitraum Januar bis März
18. Winterfeuchtigkeitsindex[2] für den Zeitraum Juni bis Ausgust
19. Jährlicher Feuchtigkeitsindex[2]
20. Jährliche Anzahl von Trockenmonaten
21. Jährliche Dauer der Vegetationsperiode (in Tagen)

1) mit: hygrisches Defizit = Niederschlag - potentielle Evapotranspiration
2) mit: Feuchtigkeitsindex = Niederschlag / potentielle Evapotranspiration

3.1.4.2. Ertragskundliche Daten

Von der Forstinventurdatenbank der "División de Inventarios" des "Instituto Forestal-Chile" wurden ertragskundliche Daten, einschließlich des Standortsindex (mittlere Baumhöhe von herrschenden Bäumen eines Bestandes im Alter von 20 Jahren), die mittleren Brusthöhendurchmesser und Baumhöhen, von ausgewählten Pinus radiata Beständen im Alter von 12 Jahren zur Verfügung gestellt.

Auf jeden Bestand sind die Gleichungen aus dem Abschnitt 4.1.1. zur Bestimmung der Baumbiomasse angewendet worden, um die über 12 Jahre akkumulierte Bestandsbiomasse zu berechnen. Danach wurde für jeden dieser Bestände die mittlere jährliche Produktivität (in t/ha a) ermittelt. Damit konnten Beziehungen zwischen klimatologischen Parametern und potentieller Produktivität von Pinus radiata Plantagen aufgestellt werden (Abschnitt 4.2.).

3.1.4.3 Korrelation zwischen Klima und Produktivitätsparametern

Die klimatologischen und ertragskundlichen Daten für jeden ausgewählten Bestand wurden auf Datenträger gespeichert.

In Chile, wie auch in anderen Ländern, wird üblicherweise der Standortsindex als indirektes Maß für die potentielle Produktivität eines Bestandes verwendet (COX, 1982; DAVIS, 1966; GARCIA, 1970; HUSCH, 1963; INFOR, 1987; JONES, 1969). Der Zusammenhang zwischen der mittleren jährlichen Produktivität, dem Standortsindex und den unabhängigen Klimaparametern wurde über folgende Statistikprogramme untersucht:

- bivariante Graphiken,
- multiple Linearregression,
- schrittweise Regression.

Die gefundenen Zusammenhänge zwischen den Produktivitätsmaßen (mittlere jährliche Produktivität und Standortsindex) der Pinus radiata Plantagen und klimatologischen Parametern wurden benutzt, um ein Modell für die Bestimmung der jährlichen Produktivität zu entwickeln und ein Modell für die Bestimmung des Standortsindex auszuarbeiten.

3.1.4.4. Kartierung der potentiellen Produktivität

Die mittlere jährliche potentielle Produktivität und der "potentielle Standortsindex" von Pinus radiata Beständen wurden für jeden Ort des klimatologischen Netzes im Untersuchungsgebiet durch die Anwendung der beiden Modelle berechnet. Dann wurden mit diesen Werten auf einer Reliefkarte die mittlere jährliche potentielle Produktivität und der potentielle Standortsindex kartiert und über Isolinien eingeteilt.

Mit den klimatologischen Daten wurden ferner unter Benutzung des Lieth-Miami-Modells (LIETH, 1975) potentielle Produktivitätswerte für eine natürliche Pflanzenbedeckung berechnet und über Produktivitätsisolinien kartiert, die schließlich mit Produktivitätsisolinien für die Pinus radiata Plantagen verglichen wurden.

3.2. Datenauswertung

Die Auswertung der gesammelten ertragskundlichen und klimatologischen Daten erfolgte an einem PC(AT). Soweit Programme nicht zur Verfügung standen, wurden sie in Basic vom Autor selbst geschrieben. Für statistische Analysen wurden folgende Anwendungsprogramme benutzt: MICROSTAT, STATGRAPHICS, SUPERCALC und FLOW. Das Aufnahmematerial und die Ergebnisse sind auf Magnetdisketten gespeichert und im "Departamento de Silvicultura" der "Universidad de Chile" deponiert.

4. ERGEBNISSE

Im folgendem werden die Untersuchungsergebnisse, getrennt nach Biomasse und klimaabhängiger potentieller Produktivität präsentiert. Daran schließt sich ihre Diskussion an, und es wird ihre Bedeutung für die Pinus radiata Plantagen in Chile analysiert. Bei fast sämtlichen Zahlenangaben der Ergebnisse handelt es sich um Mittelwerte über alle Biomasse-Stichproben und klimatologischen Daten. Soweit nicht anders vermerkt, sind alle Angaben von Biomasse und Produktivität in Tonnen pro Hektar (= t/ha) umgerechnet.

4.1. Biomassen

4.1.1. Schätzfunktionen für der Biomasse der grünen Äste in Abhängigkeit von Astkenngrößen.

Um die strukturellen Astmerkmale und Biomassegrößen der ausgewählten 810 grünen Probeäste zu bestimmen, wurden die in Abschnitt 3.1.3.3. beschriebenen Stichprobenverfahren benutzt. Bisherige Forschungsergebnisse von van LAAR (1973), MADGWICK und JACKSON (1974) und EK (1979) haben gezeigt, daß die Ast- und Nadelgewichte eine hohe Korrelation mit Astkenngrößen, wie Astdurchmesser, -länge und -ansatzhöhe, aufweisen. Diese drei Strukturparameter wurden herangezogen, um Schätzfunktionen für die Biomasse von verschiedenen Teilen der Bäume und die gesamten grünen Astgewichte aufzustellen. Die geprüften Typen von Funktionsgleichungen waren von der Art:

$$Y = a + b*X1 + c*X2 + d*X3 + e*X4 \qquad (1)$$

$$\ln Y = a + b*\ln X1 + c*\ln X2 + d*\ln X3 + e*\ln X4 \qquad (2)$$

wobei: Y = Gewicht der Astteile

X1 , X2 , X3 , X4 = strukturelle Astkenngrößen

a , b , c , d , e = Regressionskoeffizienten

Die hier für die grünen Äste von Pinus radiata erzielten Ergebnisse sind in der Tab. 6 zusammengestellt.

Tab. 6: Regressionsschätzfunktionen und statistische Kennwerte zur Bestimmung der grünen Astteilgewichte von Pinus radiata aus den Astkenngrößen Durchmesser und Länge, wobei: Y = Trockengewicht der Astteile (g); D = Astdurchmesser 2,5 cm über dem Astansatz (cm); L = Astlänge (cm)

Äste-teile	Äste-anzahl	Gleichungen	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
Nadeln	810	$Y = 41,29*D^2 - 0,04*D^2L$	0,78	64,71	1.454,1	***
Äste u. Zweige	810	$Y = 0,21*D^2L$	0,88	91,59	6.215,3	***
Gesamte Äste	810	$Y = 40,82*D^2 + 0,17*D^2L$	0,91	117,60	3.983,4	***

Als Bestimmungsgrößen für die Trockengewichte von Nadeln, Zweigen und Ästen sowie für das gesamte Astgewicht erwiesen sich Astdurchmesser und Astlänge als am geeignetsten. In keiner der ermittelten Regressionsgleichungen hat sich die Astansatzhöhe als bedeutende Astkenngröße herausgestellt. Die F-Wert-Prüfung ergab für alle drei Gleichungen in Tab. 6 eine Signifikanz von 0,999 (= ***).

Eine Validierung der Gleichungen wurde mit der t-Wert-Signifikanzprüfung durchgeführt. Der Test hat gezeigt, daß für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 5 % und mit 90 Wertegruppen von anderen Ästen, die bei der Bestimmung der Regressionsgleichungen in Tab. 6 nicht verwendet worden sind, keine Unterschiede zwischen den Meßwerten und den analogen Werten bestanden, die über die drei Schätzgleichungen berechnet wurden.

4.1.2. Schätzfunktion für die Biomasse der toten Äste in Abhängigkeit von Astkenngrößen

Die im Kapitel 3.1.3.3. beschriebenen Stichprobenverfahren wurden angewendet, um die strukturellen Astmerkmale und Trockengewichte von 332 toten Ästen zu erhalten. Verschiedene Typen von Schätzfunktionen für das Trockengewicht der toten Äste mit den unabhängigen Parametern Astdurchmesser, Astlänge und Astansatzhöhe wurden geprüft. Dabei erwies sich die logarithmische Funktion:

$$\ln Y = a + b * \ln D^2L \qquad (3)$$

als am geeignetsten,

wobei: Y = Trockengewicht eines toten Astes (g)
D = Astdurchmesser 2,5 cm über dem Astansatz (cm)
L = Astlänge (cm)
a, b = Regressionskoeffizienten

bedeuten.

Die Ergebnisse für das Trockengewicht von toten Ästen von Pinus radiata enthält Tab. 7.

Tab. 7: Statistische Kennwerte der Regressionsschätzfunktion (3) zur Bestimmung des toten Astgewichtes von Pinus radiata aus den Astkenngrößen Durchmesser und Länge

Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizienten a	b	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
332	-1,116	0,919	0,96	0,2373	2.963,8	***

Als zweckmäßigste Bestimmungsgrößen für das Trockengewicht der toten Äste stellten sich der Astdurchmesser und die Astlänge heraus. In der gewählten Gleichung (3) ist die Astansatzhöhe als Astkenngröße nicht enthalten. Die F-Wert Prüfung ergab eine Signifikanz von 0,999 für die Schätzfunktion (= ***).

Eine Validierung der Gleichung erfolgte wieder über die t-Wert-Signifikanzprüfung. Der Test belegte, daß für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,5 % und mit 40 noch nicht verwendeten Astkenndaten keine Unterschiede zwischen den Meßwerten und den analogen, über die Schätzfunktion berechneten Werten auftraten.

Die aus (3) und den Daten in Tab. 7 abgeleitete linearisierte Allometrische Gleichung

$$Y = \exp(-1{,}116 + 0{,}919 \ln D^2L) \qquad (4)$$

ist durch die Berücksichtigung des Terms (Standardfehler)^2/2 zu korrigieren, um systematische prozentuale Fehler der berechneten mittleren Werte auszuschließen (BASKERVILLE, 1972; BEUCHAMP und OLSON, 1973; FLEWELLING und PIENNAR, 1981; LAAR v, 1984; MADGWICK und SATOO, 1975; MADGWICK, 1983; WIANT und HARNER, 1979; YANDLE und WIANT, 1981). Damit wird Geichung (4) erweitert zu:

$$Y = \exp(-1{,}116 + 0.919 \ln D^2L + (0{,}2373)^2/2) \qquad (5)$$

Dieses Korrekturverfahren wird in der vorliegenden Untersuchung für jede Allometrische Gleichung angewendet.

4.1.3. Schätzfunktion für die Nadeloberfläche in Abhängigkeit vom Nadelgewicht

Insgesamt wurden 192 Stichproben benutzt, um die Beziehungen zwischen der Nadeloberfläche und dem Nadelgewicht zu ermitteln. Verschiedene Typen von Schätzfunktionen wurden geprüft.

Die besten statistischen Ergebnisse ergaben sich dabei mit einer linearen Regression in der Form:

$$Y = a + b*X \qquad (6)$$

wobei: y = Nadeloberfläche (cm^2)
X = Nadelgewicht (g)
a, b = Regressionkoeffizienten

bedeuten.

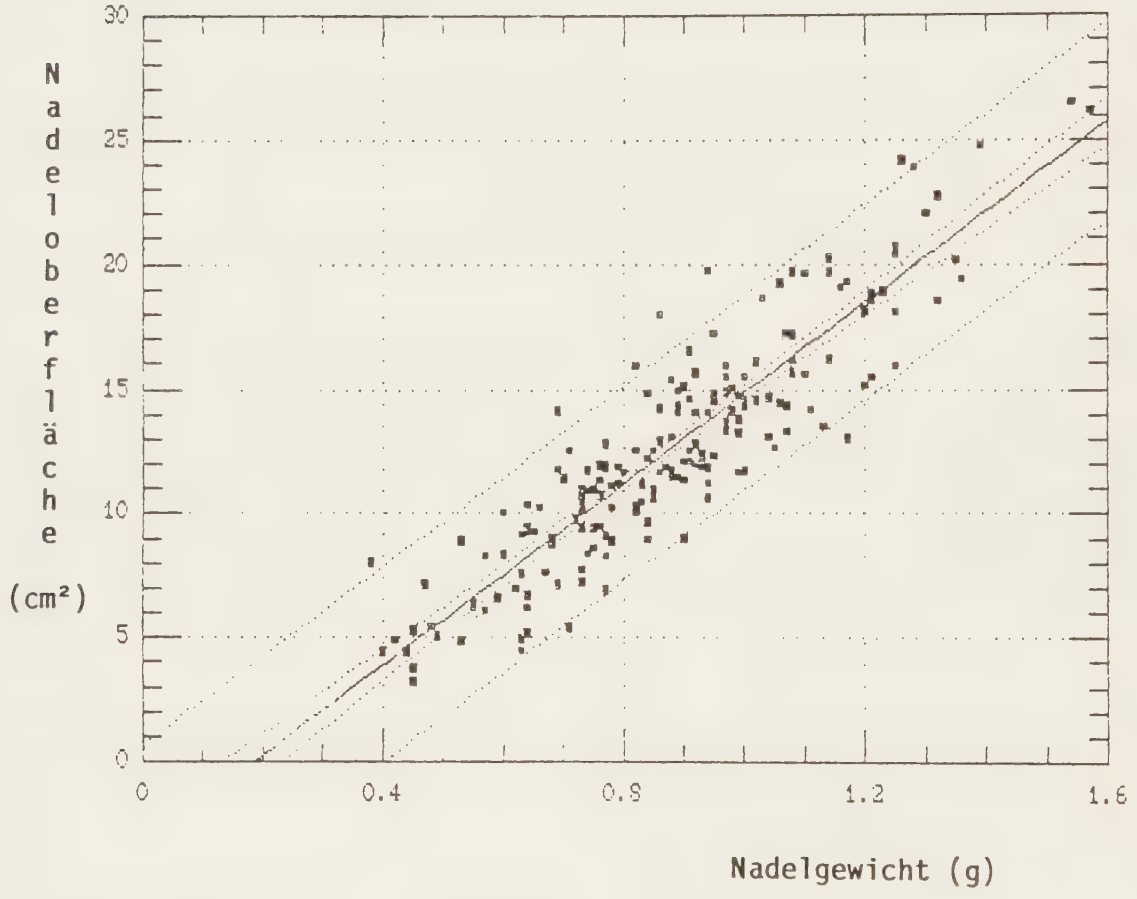
Die Ergebnisse sind in der Tab. 8 zusammengestellt. Ergänzend dazu gibt die Abb. 15 den Kurvenverlauf mit Vertrauensintervallen der Schätzfunktion für die Nadeloberfläche an. Zusätzlich zeigt die Abb. 16 die Verteilung der Restwerte, die durch die Schätzfunktion berechnet wurden.

Tab. 8: Statistische Kennwerte der Regressionsschätzfunktion (6) zur Bestimmung der Nadeloberfläche (cm^2) von Pinus radiata aus dem Nadelgewicht (g)

Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizienten a	b	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
192	-3,384	18,212	0,81	1,975	829,62	***

Der F-Wert-Test ergab für die Schätzfunktion eine Signifikanz 0,999 (= ***). Der Korrelationskoefizient der Gleichung ist 0,902.

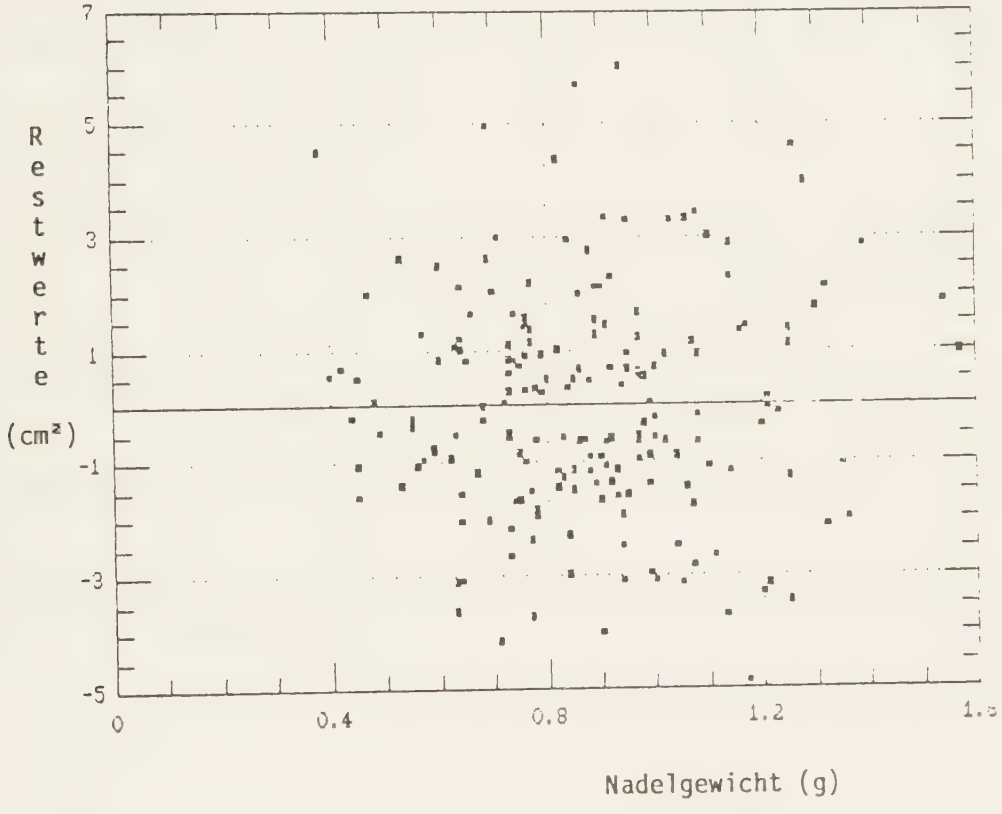
Abb. 15: Beziehung zwischen der Nadeloberfläche (cm^2) und dem Nadelgewicht (g) auf der Basis von 192 Nadelstichproben von Pinus radiata mit jeweils 50 Nadeln: Schätzfunktion (6), Grenzen für 1 % und 5 % Überschreitungswahrscheinlichkeiten und Meßwerte



In die Abb. 15 sind die Konfidenzintervalle für 1 % und 5 % miteingetragen; einige Nadeloberflächenmeßwerte liegen über oder unter diesen Intervallen. Diese Meßwerte wurden aber wegen des Signifikanzgrades der Schätzfunktion und der gleichmäßigen Verteilung der Restwerte (Abb. 16) nicht ausgeschaltet.

Die Restwerteanalyse zeigt eine relativ gleichmäßige Verteilung der Restwerte über und unter den Schätzwerten, d.h. das gewählte Schätzmodell ist richtig (FAO, 1979).

Abb. 16: Restwerteverteilung der nach (6) berechneten Nadeloberflächenwerte



4.1.4. Schätzfunktionen für die Biomasse der Baumorgane in Abhängigkeit von Baumgrößen

Durch Verwendung einer stufenweisen Regressionsanalyse wurden die Zusammenhänge zwischen den Trockengewichten der verschiedenen oberirdischen Baumorgane und den Baumdimensionen untersucht. Die dabei berücksichtigten unabhängigen Parameter waren:

d : Brusthöhendurchmesser (= BHD im Text und in Tabellen),
g : Stammgrundfläche,
h : Baumhöhe,

kah : Kronenansatzhöhe,
kl : Kronenlänge,
kr : Kronenradius,
kf : Kronenfläche,
kv : Kronenvolumen.

Außer diesen Einzelgrößen wurden auch verschiedene Parameterkombinationen geprüft. Vor der Aufstellung der Regressionsgleichungen wurden Korrelationsmatrizen der Gewichte und der verschiedenen unabhängigen Baumkenngrößen ermittelt, um in der Regressionsanalyse nur die Baumkenngrößen mit einem höheren Korrelationsniveau zu benutzen.

Die Untersuchung bezog sich für alle Baumteile auf "normale" und logarithmische Funktionen. Bei der Festlegung der Regressionsgleichungen wurden folgende Kriterien beachtet:

- statistische Kennwerte-Analyse (Bestimmtheitsmaß und Standardfehler),
- F-Wert-Prüfung,
- Darstellung der Restwerteverteilung bzw. der geschätzten Gewichtswerte.

Alle hier ermittelten Regressionsgleichungen wurden mit Daten von 25 anderen Bäumen, die nicht in die Korrelationsanalyse einbezogen worden waren, durch die Signifikanzprüfung über den t-Wert validiert.

4.1.4.1. Schätzfunktion zur Bestimmung des Stammtrockengewichtes

Die Tab. 9 enthält die Korrelationsmatrix zwischen dem Stammtrockengewicht und den Baumkenngrößen. Die höchsten Korrelationskoeffizienten ergaben sich mit der Baumhöhe, dem Brusthöhendurchmesser und der Kronenansatzhöhe. Der niedrigste Korrelationskoeffizient wurde für die Kronenlänge erzielt.

Als Regressionsgleichung für das Stammtrockengewicht Y (in kg) wurde die Potenzfunktion

$$Y = -10{,}292*(h^2g)^{0{,}715} \qquad (7)$$

ermittelt, wobei h die Baumhöhe in cm und g die Stammgrundfläche im cm^2 sind.

Tab. 9: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen Stammgewicht und Baumkenngrößen

	BHD	Baum-grund-fläche	Baum-höhe	Kronen-ansatz-höhe	Kronen-länge	Mittl. Kronen-radius	Mittl. Kronen-fläche	Mittl. Kronen-volumen	Stamm-gewicht
BHD	1,000								
Baumgrundfläche	0,943	1,000							
Baumhöhe	0,741	0,523	1,000						
Kronenansatzhöhe	0,644	0,468	0,872	1,000					
Kronenlänge	0,479	0,312	0,642	0,184	1,000				
Mittl. Kronenradius	0,362	1,000	0,527	0,148	0,527	1,000			
Mittl. Kronenfläche	0,380	0,365	0,436	0,146	0,476	0,968	1,000		
Mittl. Kronenvolumen	0,426	0,390	0,665	0,122	0,817	0,904	0,884	1,000	
Stammgewicht	0,784	0,645	0,878	0,747	0,589	0,613	0,584	0,716	1,000

In der Tab. 10 sind ergänzend neben den Regressionskoeffizienten a und b die statistischen Kennwerte der Schätzfunktion (7) zusammengestellt. Der Korrelationskoeffizient der Funktion ist 0,99. Der Standardfehler erreicht den logarithmischen Wert von 0,158, dies entspricht einen Normalwert von 1,171.

Tab. 10: Regressionskoeffizienten und statistische Kennwerte für die Bestimmungsgleichung (7) zur Schätzung des Stammtrockengewichtes (kg) aus den Baumhöhen (cm) und der Stammgrundfläche (cm^2)

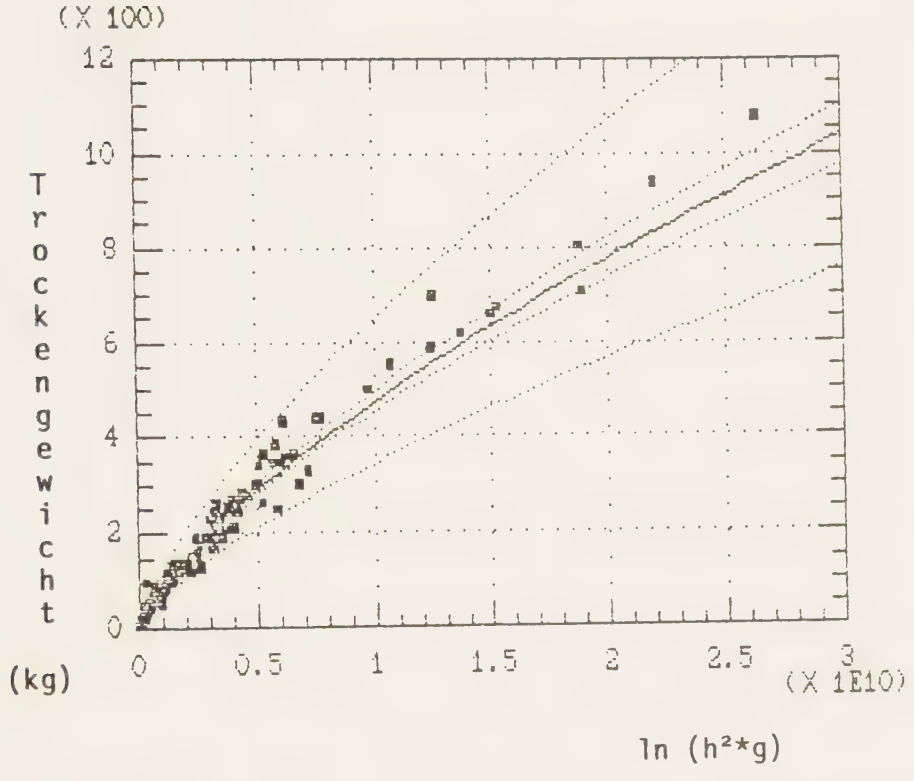
Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizienten a	b	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
147	-10,292	0,715	0,979	0,158	6.921,99	**

Die aus (7) abgeleitete korrigierte, linearisierte Gleichung lautet:

$$Y = \exp(-10{,}292 + 0{,}715 \ln h^2g + (0{,}158)^2/2) \qquad (8)$$

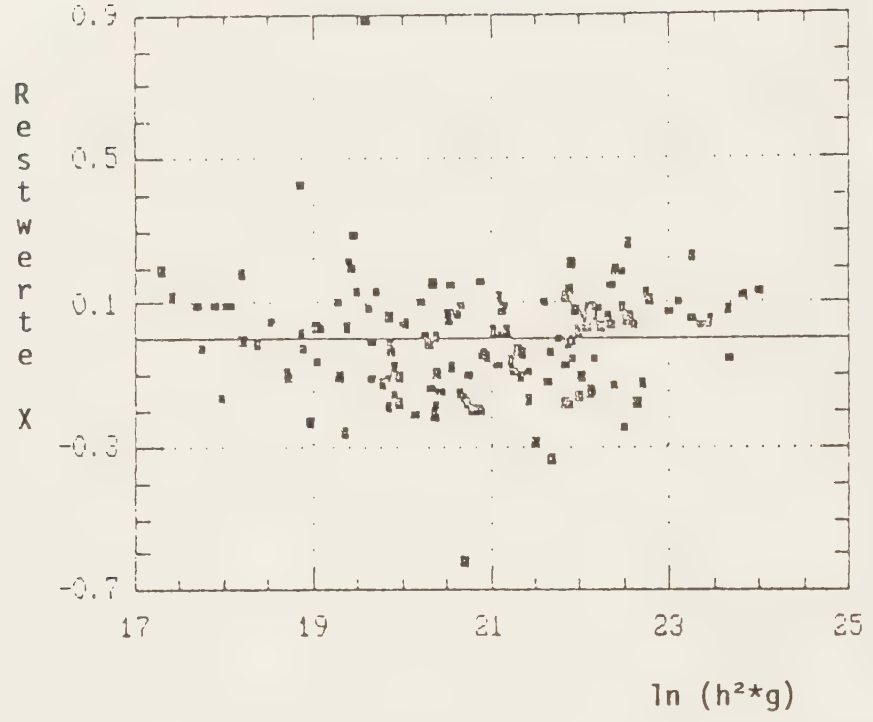
Die Abb. 17 zeigt den Kurvenverlauf der Schätzfunktion (8), aber ohne den Korrekturfaktor $(0{,}158)^2/2$, mit den Toleranzgrenzen für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von p = 5 % und 1 %. Dabei ist zur erkennen, daß fast alle Meßwerte innerhalb der Toleranzgrenzen für p = 5 % liegen.

Abb. 17: Stammtrockengewicht (kg) in Abhängigkeit von Stammgrundfläche (cm^2) und Baumhöhe (cm): Schätzfunktion (8), Grenzen für 1 % und 5 % Überschreitungswahrscheinlichkeiten und Meßwerte



Aus der Abb. 18 ist abzuleiten, daß die Restwerte der Schätzfunktion (8) eine gleichmäßige Verteilung aufweisen, d.h. die Schätzwerte des Modells beinhalten keine systematischen Abweichungen (RIEDWYL, 1980).

Abb. 18: Restwerteverteilung der über (8) berechneten Stammtrockengewichtswerte



Restwerte (angegeben als Exponent X * 100 zur Basis e; Restwerte e^X * 100 in kg)

4.1.4.2. Schätzfunktion zur Bestimmung des Trockengewichtes der toten Äste

In der Tab. 11 ist die Korrelationsmatrix zwischen dem Gewicht der toten Äste und Baumkenngrößen enthalten. Die höchsten Korrelationskoeffizienten ergaben sich für die Baumhöhe, den Brusthöhendurchmesser (BHD) und die Kronenansatzhöhe. Die niedrigsten Korrelationskoeffizienten traten für den mittleren Kronenradius, die Kronenfläche und das Kronenvolumen auf.

Tab. 11: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Trockengewicht der toten Äste und Baumkenngrößen

	BHD	Baum-grund-fläche	Baum-höhe	Kronen-ansatz-höhe	Kronen-länge	Mittl. Kronen-radius	Mittl. Kronen-fläche	Mittl. Kronen-volumen	Tot-Äste-gewicht
BHD	1,000								
Baumgrundfläche	0,943	1,000							
Baumhöhe	0,741	0,523	1,000						
Kronenansatzhöhe	0,644	0,468	0,872	1,000					
Kronenlänge	0,479	0,312	0,642	0,184	1,000				
Mittl. Kronenradius	0,362	1,000	0,527	0,148	0,527	1,000			
Mittl. Kronenfläche	0,380	0,365	0,436	0,146	0,476	0,968	1,000		
Mittl. Kronenvolumen	0,426	0,390	0,665	0,122	0,817	0,904	0,884	1,000	
Tot-Ästegewicht	0,794	0,509	0,880	0,739	0,609	0,385	0,417	0,463	1,000

Als beste Regressionsgleichung ergab sich für das Trockengewicht der toten Äste (= Y in kg) die Linearfunktion:

$$Y = 0{,}0003\ d^*h - 0{,}0218\ d^*kl \qquad (9)$$

mit d = Brusthöhendurchmesser in cm, h = Baumhöhe in cm und kl = Kronenlänge in m.

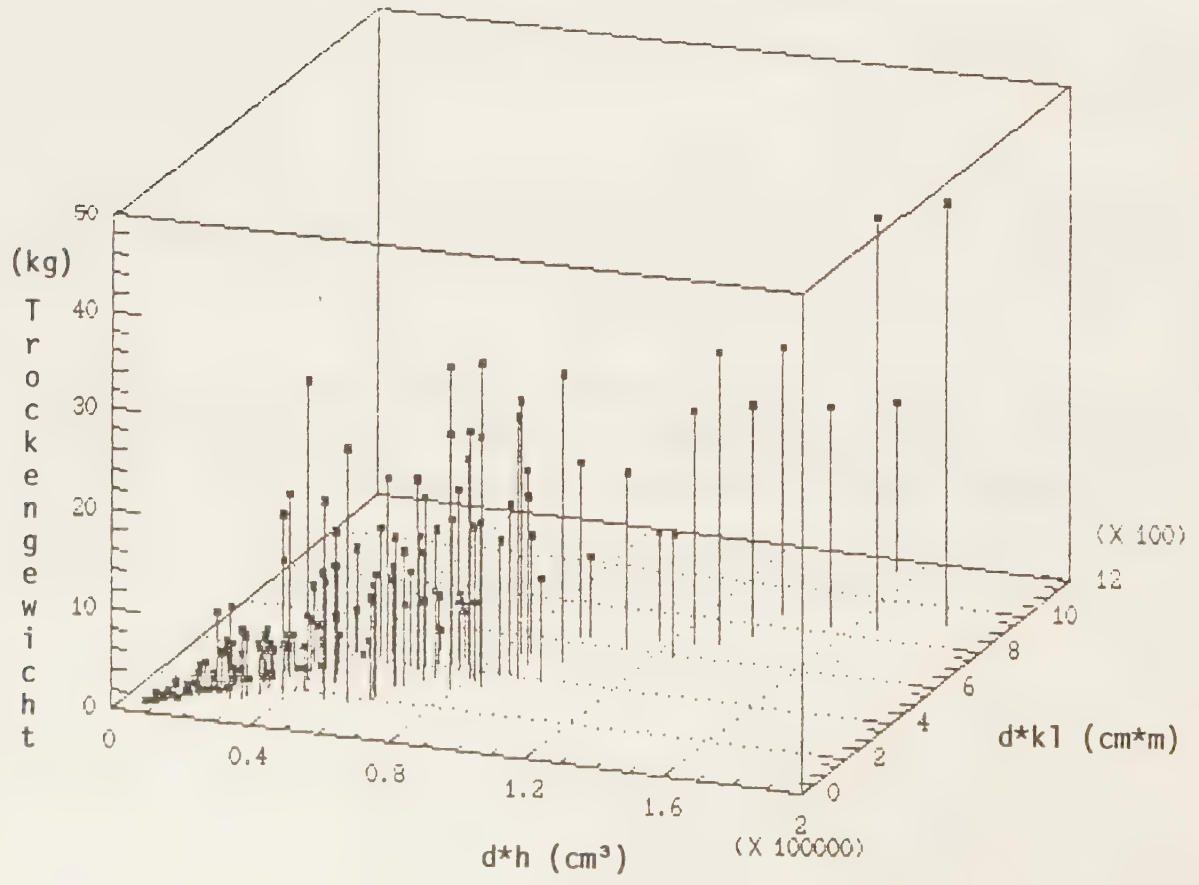
Aus der Tab. 12 läßt sich entnehmen, daß die genannte Regression bei einer Vertrauensgrenze von 1 % signifikant ist (= **). Der Korrelationskoeffizient der Funktion (9) ist 0,908. Der Standardfehler ergibt einen Wert von 5,309.

Die Abb. 19 zeigt das Verteilungsdiagramm der Meßwerte in einer dreidimensionalen Darstellung. Man erkennt eine eindeutige Tendenz für die Regressionsbeziehung (9). Trotz der großen Streuung der Meßwerte ist die Regression signifikant.

Tab. 12: Regressionskoeffizienten a und b sowie statistische Kennwerte zur Schätzung (9) des Trockengewichtes der toten Äste (kg) aus dem Brusthöhendurchmesser (cm), der Baumhöhe (cm) und der Kronenlänge (m)

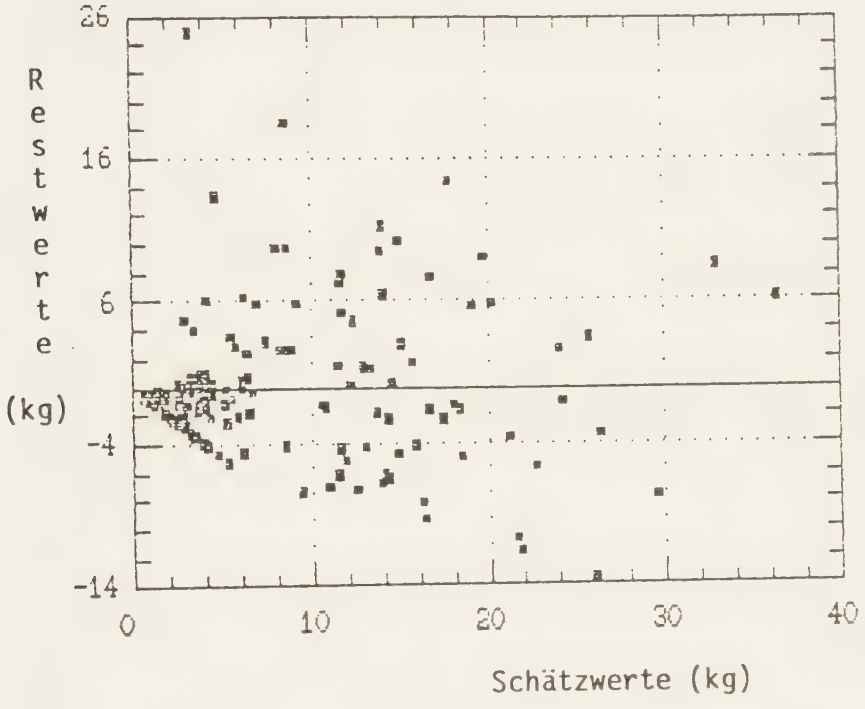
Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizienten a	b	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
148	0,0003	-0,0218	0,824	5,309	342,24	**

Abb. 19: Trockengewicht der toten Äste (kg) in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser (cm), Baumhöhe (cm) und Kronenlänge (m)



Die Abb. 20 weist auf eine gleichmäßige Verteilung der unabhängigen Restwerte der Schätzfunktion (9) hin.

Abb. 20: Restwerteverteilung des über (9) berechneten Trockengewichts der toten Äste



4.1.4.3. Schätzfunktion zur Bestimmung des Trockengewichtes der grünen Zweige und Äste

Die Korrelationsmatrix zwischen dem Trockengewicht der grünen Zweige und Äste sowie den Baumkenngroßen zeigt, daß die Korrelationskoeffizienten zwischen 0,385 (Kronenansatzhöhe) und 0,631 (Kronenlänge) schwanken (Tab. 13). Eine hohe Korrelation wird auch mit dem Brusthöhendurchmesser (0,620) und der Baumhöhe (0,615) erzielt.

Tab. 13: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Trockengewicht der grünen Zweige und Äste sowie Baumkenngrößen

	BHD	Baum-grund-fläche	Baum-höhe	Kronen-ansatz-höhe	Kronen-länge	Mittl. Kronen-radius	Mittl. Kronen-fläche	Mittl. Kronen-volumen	Grün-Äste-gewicht
BHD	1,000								
Baumgrundfläche	0,943	1,000							
Baumhöhe	0,741	0,523	1,000						
Kronenansatzhöhe	0,644	0,468	0,872	1,000					
Kronenlänge	0,479	0,312	0,642	0,184	1,000				
Mittl. Kronenradius	0,362	1,000	0,527	0,148	0,527	1,000			
Mittl. Kronenfläche	0,380	0,365	0,436	0,146	0,476	0,968	1,000		
Mittl. Kronenvolumen	0,426	0,390	0,665	0,122	0,817	0,904	0,884	1,000	
Grün-Ästegewicht	0,620	0,475	0,615	0,385	0,631	0,588	0,593	0,551	1,000

Als Regressionsgleichung für das Trockengewicht der grünen Zweige und Äste (= Y in kg) ergab sich:

$$Y = 0{,}06267\ d^{*}kl \qquad (10)$$

mit d = Brusthöhendurchmesser in cm und kl = Kronenlänge in m.

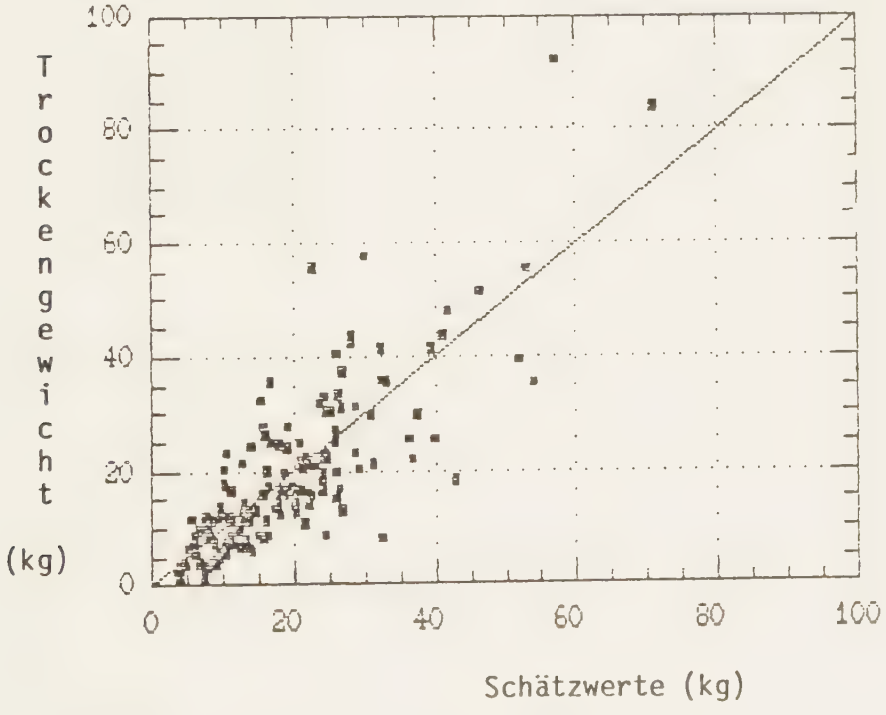
Aus der Tab. 14 folgt, daß die Regressionsgleichung (10) bei einer Vertrauensgrenze von 1 % signifikant ist (= **). Der Korrelationskoeffizient der Funktion ist 0,935. Der Standardfehler hat einen Wert von 8,605.

Die Meßwerteverteilung und die Erwartungsgerade für die Schätzfunktion (10) sind in der Abb. 21 dargestellt. Trotz einer relativen großen Streuung der Meßwerte ist die Regression signifikant.

Tab. 14: Regressionskoeffizient und statistische Kennwerte zur Schätzung (10) des Trockengewichtes (kg) der grünen Zweige und Äste aus dem Brusthöhendurchmesser (cm) und der Kronenlänge (m)

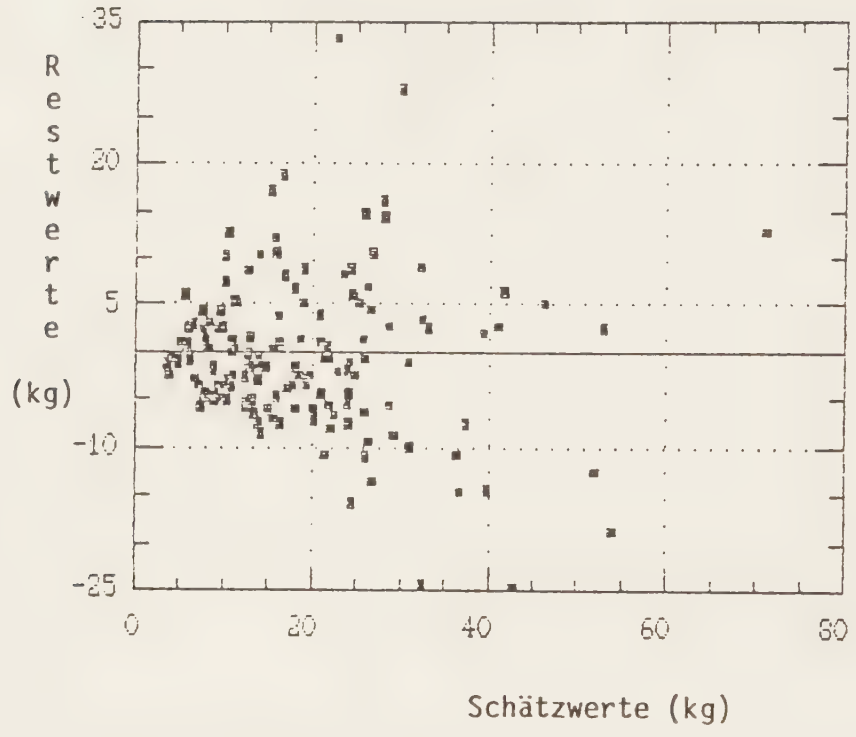
Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizient	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
148	0,06267	0,875	8,605	1.030,6	**

Abb. 21: Trockengewicht (kg) der grünen Zweige und Äste in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser (cm) und Kronenlänge (m): Schätzfunktion (10) und Meßwerte



Die gleichmäßige Verteilung der unabhängigen Restwerte der Schätzfunktion (10) wird durch die Abb. 22 dokumentiert.

Abb. 22: Restwerteverteilung des über (10) berechneten Trockengewichtes der grünen Zweige und Äste



4.1.4.4. Schätzfunktion zur Bestimmung des Nadeltrockengewichtes

Die Tab. 15 enthält die Korrelationsmatrix zwischen dem Nadeltrockengewicht und Baumkenngrößen. Der höchste Korrelationkoeffizient wird durch die Kronenlänge (0,631) erzielt, es folgen die Korrelationen mit dem Brusthöhendurchmesser (0,469) und der Baumhöhe (0,459).

Als beste Schätzfunktion für das Nadeltrockengewicht Y (in kg) ergab sich folgende Regressionsbeziehung:

$$Y = 0{,}03648\ d^{*}kl \qquad (11)$$

mit d = Brusthöhendurchmesser in cm und kl = Kronenlänge in m.

Tab. 15: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Nadeltrockengewicht und Baumkenngrößen

	BHD	Baum-grund-fläche	Baum-höhe	Kronen-ansatz-höhe	Kronen-länge	Mittl. Kronen-radius	Mittl. Kronen-fläche	Mittl. Kronen-volumen	Nadel-gewicht
BHD	1,000								
Baumgrundfläche	0,943	1,000							
Baumhöhe	0,741	0,523	1,000						
Kronenansatzhöhe	0,644	0,468	0,872	1,000					
Kronenlänge	0,479	0,312	0,642	0,184	1,000				
Mittl. Kronenradius	0,362	1,000	0,527	0,148	0,527	1,000			
Mittl. Kronenfläche	0,380	0,365	0,436	0,146	0,476	0,968	1,000		
Mittl. Kronenvolumen	0,426	0,390	0,665	0,122	0,817	0,904	0,884	1,000	
Nadelgewicht	0,469	0,341	0,459	0,225	0,631	0,442	0,449	0,408	1,000

Die Tab. 16 gibt an, daß die Regression (11) bei einer Vertrauensgrenze von 1 % signifikant ist (= **). Die Gleichung (11) hat einen Korrelationskoeffizient von 0,937 und einen Standardfehler von 4,953.

Tab. 16: Regressionskoeffizient und statistische Kennwerte aus (11) zur Bestimmung des Nadeltrockengewichtes (kg) aus Brusthöhendurchmesser (cm) und Kronenlänge (m)

Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizient	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
148	0,03648	0,878	4,953	1.053,8	**

Die Meßwerteverteilung und die Erwartungswerte für das Schätzmodell (11) sind in der Abb. 23 dargestellt. Die Restwerteverteilung ist in der Abb. 24 enthalten; sie hat eine relativ gleichmäßige Form.

Abb. 23: Nadeltrockengewicht (kg) in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser (cm) und Kronenlänge (m): Schätzmodell (11) und Meßwerte

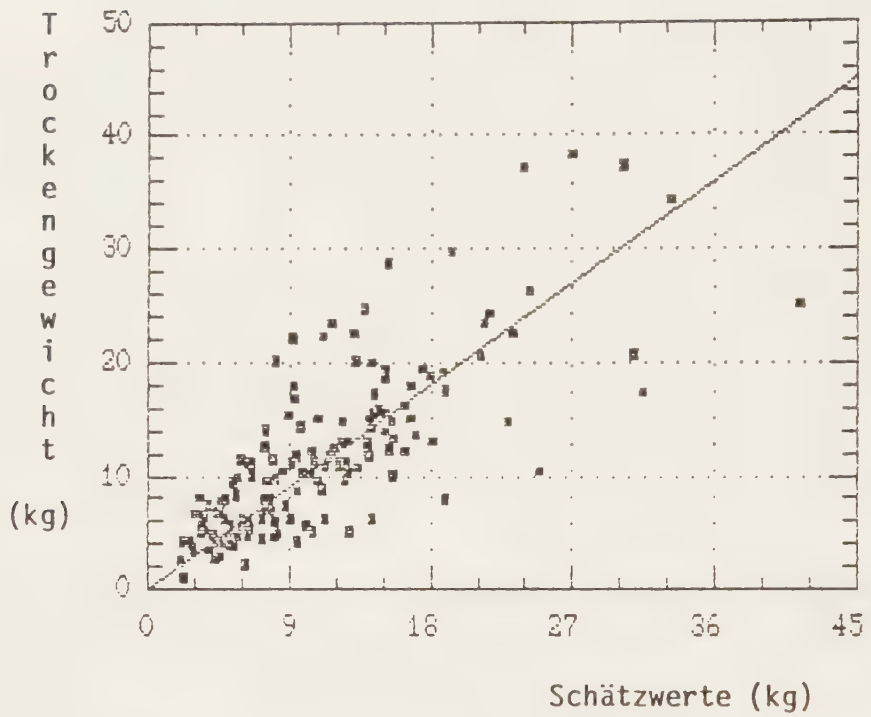
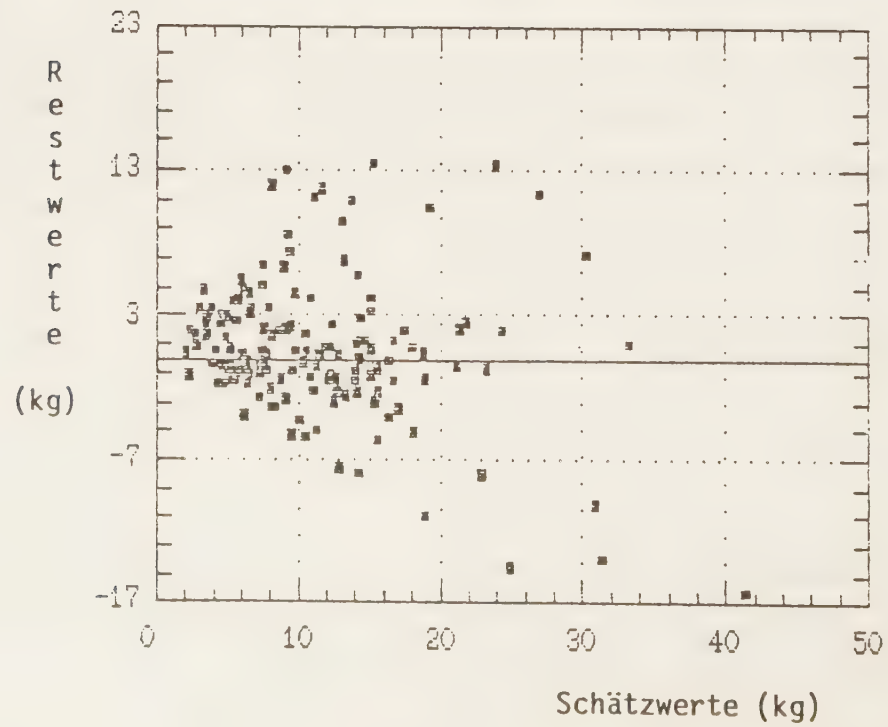


Abb. 24: Restwerteverteilung der über (11) berechneten Nadeltrockengewichte



4.1.4.5. Schätzfunktion zur Bestimmung des gesamten Trockengewichtes der grünen Äste

Die Korrelationsmatrix zwischen dem gesamten Trockengewicht der grünen Äste und Baumkenngrößen ist in der Tab. 17 zusammengestellt. Die Korrelationskoeffizienten schwanken zwischen 0,662 für die Kronenlänge und 0,375 für die Kronenansatzhöhe. Höhere Korrelationen werden auch mit dem Brusthöhendurchmesser (0,631), der Baumhöhe (0,623), dem mittleren Kronenradius (0,617) und der Kronenfläche (0,605) erzielt.

Tab. 17: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem gesamten Trockengewicht der grünen Äste und Baumkenngrößen

	BHD	Baum-grund-fläche	Baum-höhe	Kronen-ansatz-höhe	Kronen-länge	Mittl. Kronen-radius	Mittl. Kronen-fläche	Mittl. Kronen-volumen	Gesamte Grün-Äste-gewicht
BHD	1,000								
Baumgrundfläche	0,943	1,000							
Baumhöhe	0,741	0,523	1,000						
Kronenansatzhöhe	0,644	0,468	0,872	1,000					
Kronenlänge	0,479	0,312	0,642	0,184	1,000				
Mittl. Kronenradius	0,362	1,000	0,527	0,148	0,527	1,000			
Mittl. Kronenfläche	0,380	0,365	0,436	0,146	0,476	0,968	1,000		
Mittl. Kronenvolumen	0,426	0,390	0,665	0,122	0,817	0,904	0,884	1,000	
Gesamte Grün-Ästegewicht	0,631	0,475	0,623	0,375	0,662	0,617	0,605	0,593	1,000

Als beste Schätzfunktion für das gesamte Trockengewicht der grünen Äste (= Y in kg) ergab sich die Regresssionsbeziehung:

$$Y = 0{,}10087\ d^{*}kl \qquad (12)$$

mit d = Brusthöhendurchmesser (in cm) und kl = Kronenlänge (in m).

Die Ergebnisse in Tab. 18 belegen, daß die Regressionsbeziehung (12) bei einer Vertrauensgrenze von 1 % signifikant ist (= **). Die Gleichung (12) hat einen Korrelationskoeffizient von 0,942 und einen Standardfehler von 13,082.

Tab. 18: Regressionskoeffizient und statistische Kennwerte aus (12) zur Bestimmung des gesamten Trockengewichtes der grünen Äste (kg) aus dem Brusthöhendurchmesser (cm) und der Kronenlänge (m)

Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizient	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
148	0,10087	0,887	13,082	1.154,9	**

Die Meßwerteverteilung und die Erwartungswerte für die Schätzfunktion (12) sind in der Abb. 25 dargestellt; die Restwerteverteilung enthält die Abb. 26.

Abb. 25: Gesamtes Trockengewicht der grünen Äste (kg) in Abhängigkeit vom Brusthöhendurchmesser (cm) und der Kronenlänge (m): Schätzmodell (12) und Meßwerte

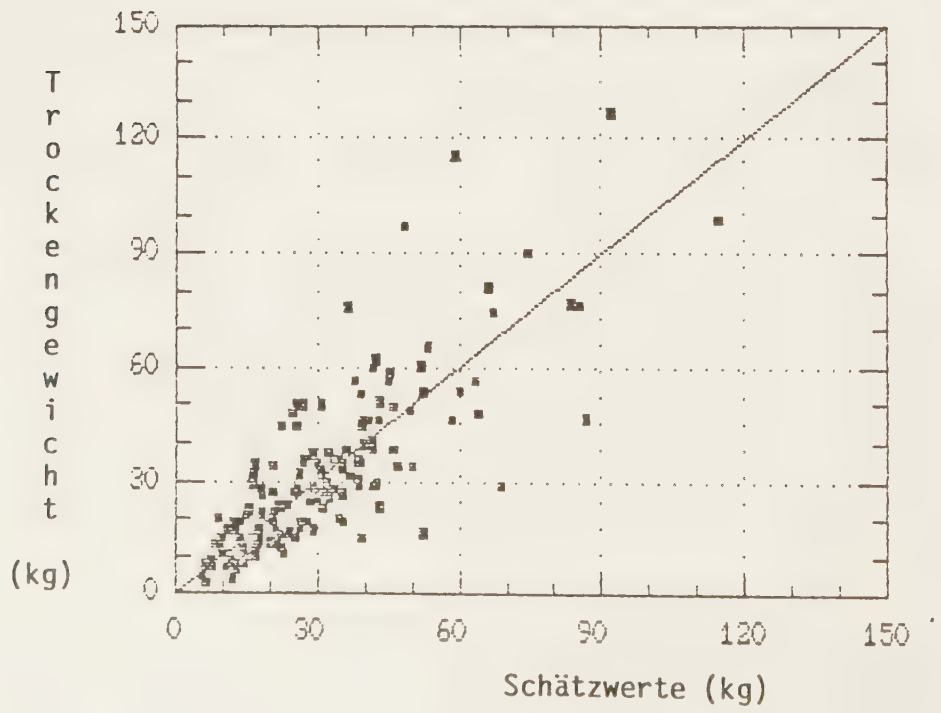
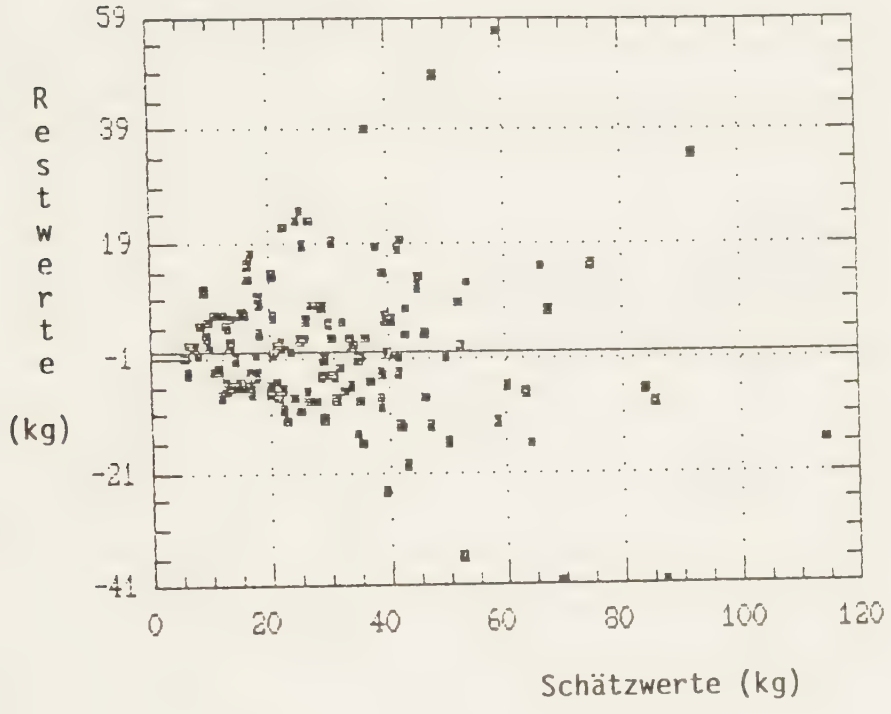


Abb. 26: Restwerteverteilung des über (12) berechneten gesamten Trockengewichtes der grünen Äste



Trotz der großen Streuung der Meßwerte (Abb. 25) und der Restwerte (Abb 26) ist die Regression (12) signifikant. Die Restwerte sind in etwa gleichmäßig verteilt.

4.1.4.6. Schätzfunktion zur Bestimmung des Zapfentrockengewichtes

In der Tab. 19 ist die Korrelationsmatrix zwischen dem Zapfentrockengewicht und Baumkenngrößen wiedergegeben. Die höheren Korrelationskoeffizienten werden mit der Baumhöhe (0,456), dem Brusthöhendurchmesser (0,450) und dem Kronenvolumen (0,405) erzielt. Die niedrigste Korrelation bezieht sich auf Kronenlänge (Korrelationskoeffizient: 0,298).

Als beste Schätzfunktion für das Zapfentrockengewicht Y (in kg) erwies sich die Regressionsbeziehung:

$$Y = 0{,}00012\ d^{*}h \qquad (13)$$

mit d = Brusthöhendurchmesser (in cm) und h = Baumhöhe (in cm).

Tab. 19: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Zapfentrockengewicht und Baumkenngrößen

	BHD	Baum-grund-fläche	Baum-höhe	Kronen-ansatz-höhe	Kronen-länge	Mittl. Kronen-radius	Mittl. Kronen-fläche	Mittl. Kronen-volumen	Zapfen-gewicht
BHD	1,000								
Baumgrundfläche	0,943	1,000							
Baumhöhe	0,741	0,523	1,000						
Kronenansatzhöhe	0,644	0,468	0,872	1,000					
Kronenlänge	0,479	0,312	0,642	0,184	1,000				
Mittl. Kronenradius	0,362	1,000	0,527	0,148	0,527	1,000			
Mittl. Kronenfläche	0,380	0,365	0,436	0,146	0,476	0,968	1,000		
Mittl. Kronenvolumen	0,426	0,390	0,665	0,122	0,817	0,904	0,884	1,000	
Zapfengewicht	0,450	0,333	0,456	0,394	0,298	0,327	0,319	0,405	1 000

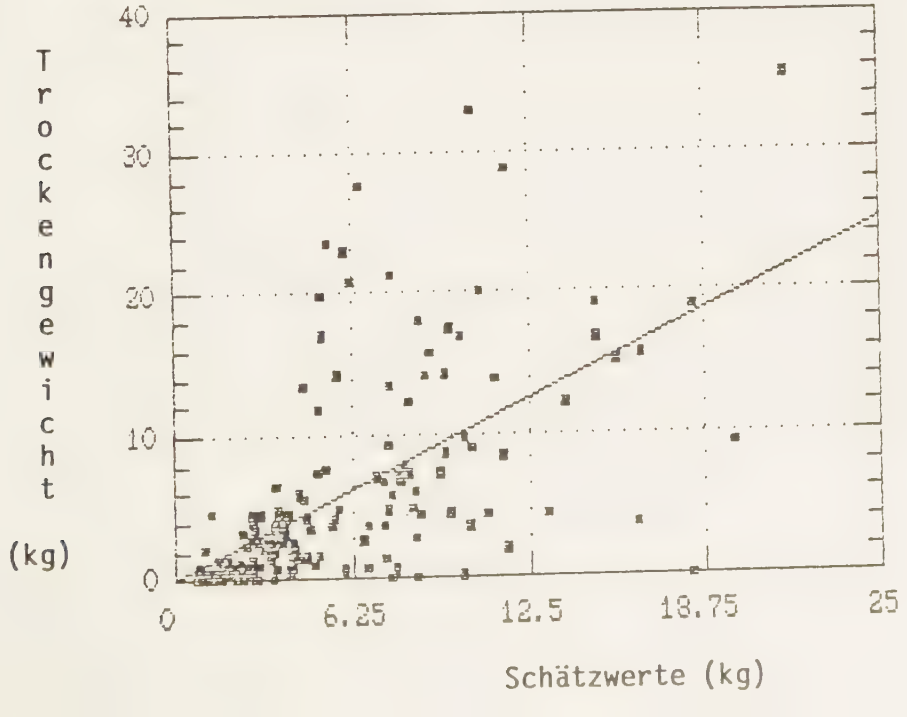
Aus der Tab. 20 kann man ableiten, daß die Regressionsbeziehung (13) bei einer Vertrauensgrenze von 5 % signifikant ist (= *). Der Korrelationskoeffizient der Funktion beträgt 0,778. Der Standardfehler hat einen Wert von 5,918.

Tab. 20: Regressionskoeffizient und statistische Kennwerte aus (13) zur Bestimmung des Zapfentrockengewichtes (kg) aus der Baumhöhe (cm) und dem Brusthöhendurchmesser (cm)

Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizient	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
148	0,00012	0,605	5,918	224,9	*

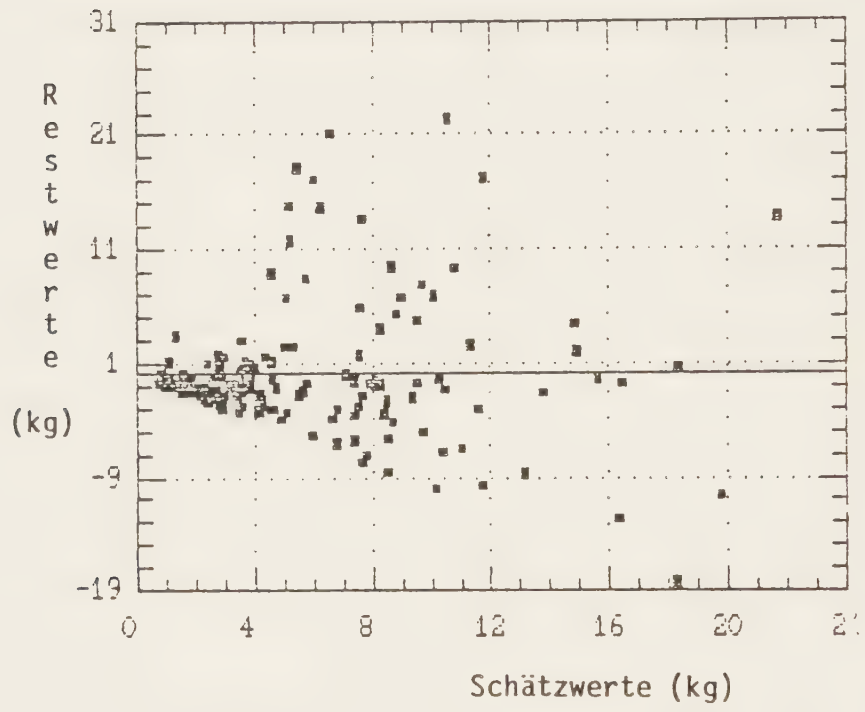
Die Meßwerteverteilung und die Erwartungswerte für die Schätzfunktion (13) sind in der Abb. 27 dargestellt. Die große Variabilität der Meßwerte beruht im wesentlichen auf der genetisch bedingten, unterschiedlichen Zapfenanzahl pro Baum. Deshalb war es sehr problematisch, ein gutes Schätzmodell für die Bestimmung des Zapfentrockengewichtes zu finden. Die Regressionsbeziehung (13) ist zwar signifikant, aber es tritt eine große Streuung der Meßwerte, insbesondere bei den herrschenden Bäumen, auf.

Abb. 27: Zapfentrockengewicht (kg) in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser (cm) und Baumhöhe (cm): Schätzmodell (13) und Meßwerte



In der Abb. 28 sind die Restwerte als Funktion der Erwartungswerte dargestellt. Die positiven und negativen Abweichungen sind in etwa gleich verteilt.

Abb. 28: Restwerteverteilung der über (13) berechneten Zapfentrockengewichtswerte



4.1.4.7. Schätzfunktion zur Bestimmung des gesamten Baumtrockengewichtes

Die Korrelationsmatrix zwischen dem gesamten Baumgewicht und Baumkenngrößen ist in der Tab. 21 wiedergegeben. Die höheren Korrelationskoeffizienten werden mit der Baumhöhe (0,880), dem Brusthöhendurchmesser (0,794) und dem Kronenvolumen (0,790) erzielt. Der niedrigste Korrelationskoeffizient wird durch die Kronenlänge (0,609) bestimmt.

Tab. 21: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Baumgewicht und Baumkenngrößen

	BHD	Baum-grund-fläche	Baum-höhe	Kronen-ansatz-höhe	Kronen-länge	Mittl. Kronen-radius	Mittl. Kronen-fläche	Mittl. Kronen-volumen	Gesamtes Baum-gewicht
BHD	1,000								
Baumgrundfläche	0,943	1,000							
Baumhöhe	0,741	0,523	1,000						
Kronenansatzhöhe	0,644	0,468	0,872	1,000					
Kronenlänge	0,479	0,312	0,642	0,184	1,000				
Mittl. Kronenradius	0,362	1,000	0,527	0,148	0,527	1,000			
Mittl. Kronenfläche	0,380	0,365	0,436	0,146	0,476	0,968	1,000		
Mittl. Kronenvolumen	0,426	0,390	0,665	0,122	0,817	0,904	0,884	1,000	
Gesamtes Baumgewicht	0,794	0,646	0,880	0,739	0,609	0,714	0,700	0,790	1,000

Als beste Schätzfunktion für das gesamte Baumtrockengewicht Y (in kg) ergab sich die Potenzfunktion:

$$Y = -8{,}367*(h^2g)^{0{,}638} \qquad (14)$$

mit h = Baumhöhe (in cm) und g = Stammgrundfläche (in cm^2).

In der Tab. 22 sind die Regressionskoeffizienten und die statistischen Kennwerte der Schätzfunktion (14) dargestellt. Der Korrelationskoeffizient der Funktion ist 0,98. Der Standardfehler erreicht den logarithmischen Wert von 0,176, was einen Normalwert von 1,192 entspricht. Die Regression ist bei einer Vertrauensgrenze von 0,1 % signifikant (= **).

Tab. 22: Regressionskoeffizienten a und b statistische Kennwerte zur Bestimmung des Baumtrockengewichtes (kg) über (14) aus der Baumhöhe (cm) und der Stammgrundfläche (cm^2)

Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizienten a	b	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
147	-8,367	0,638	0,968	0,176	4.462,92	**

Die aus (14) abgeleitete, linearisierte und korrigierte Gleichung lautet:

$$Y = \exp(-8{,}367 + 0{,}638 \ln h^2 g + (0{,}176)^2/2) \qquad (15)$$

Die Abb. 29 zeigt den Kurvenverlauf der Schätzfunktion (15), aber ohne den Korrekturfaktor $(0{,}176)^2/2$, mit Toleranzgrenzen für Überschreitungswahrscheinlichkeiten von p = 5 % und 1 %. Fast alle Meßwerte liegen zwischen den Toleranzgrenzen für p = 5 %.

Aus der Abb. 30 ist abzuleiten, daß die Restwerte der Schätzfunktion (14) eine gleichmäßige Verteilung zeigen, d.h. die Schätzwerte des Modells haben keine systematischen Abweichungen.

Abb. 29: Baumtrockengewicht (kg) in Abhängigkeit von Baumhöhe (cm) und Stammgrundfläche (cm^2): Schätzmodell (15) , Grenzen für 1 % und 5 % Überschreitungswahrscheinlichkeit und Meßwerte

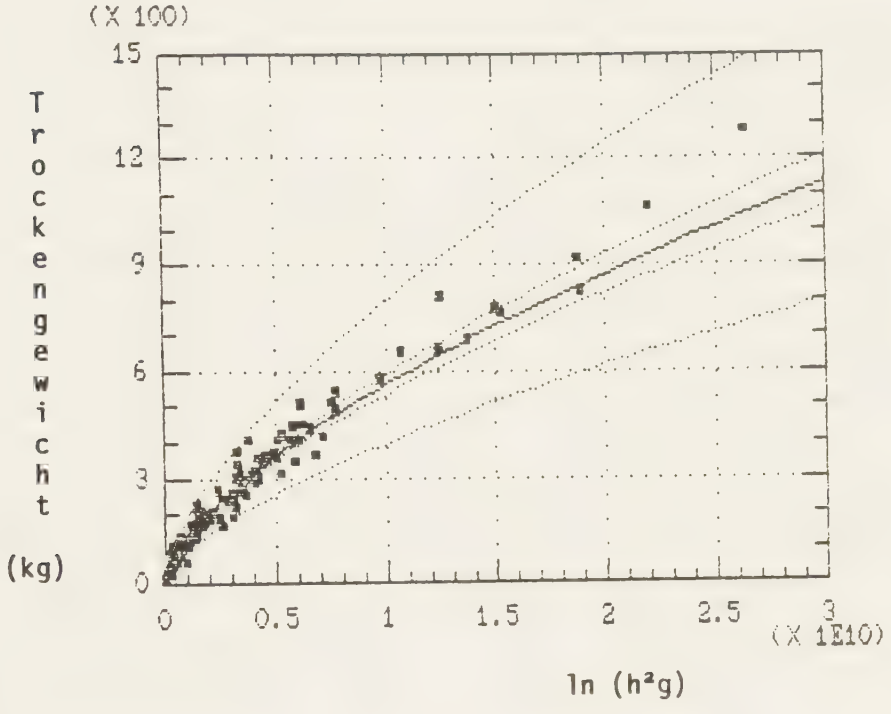
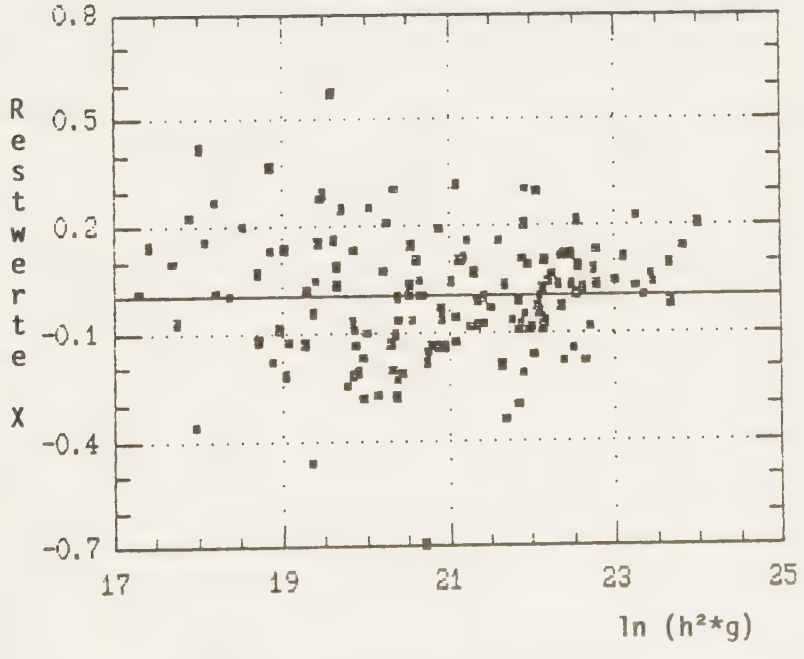


Abb. 30: Restwerteverteilung der über (14) berechneten Baumtrockengewichte



Restwerte (angegeben als Exponent X * 100 zur e; Restwerte e^X * 100 in kg)

4.1.5. Verteilung der Biomasse in den Bäumen

Um die prozentuale Verteilung der Biomasse bei den Stichprobenbäumen zu beschreiben, wurden die 172 Probebäume in drei Altersklassen eingeteilt:

I. Bäume unter 10 Jahre,
II. Bäume zwischen 11 und 20 Jahre,
III. Bäume über 20 Jahre.

Als zweites Klassifikationskriterium wurden die Bäume in 4 Baumkronenklassen eingeteilt: herrschende, mitherrschende, zwischenständige und unterdrückte Bäume (MITSCHERLICH, 1970). Die Tab. 23 enthält eine Zusammenstellung der prozentualen Verteilung der Gewichte der Baumorgane. Dabei sind die Bäume nach Alter und Baumkronenklassen geordnet.

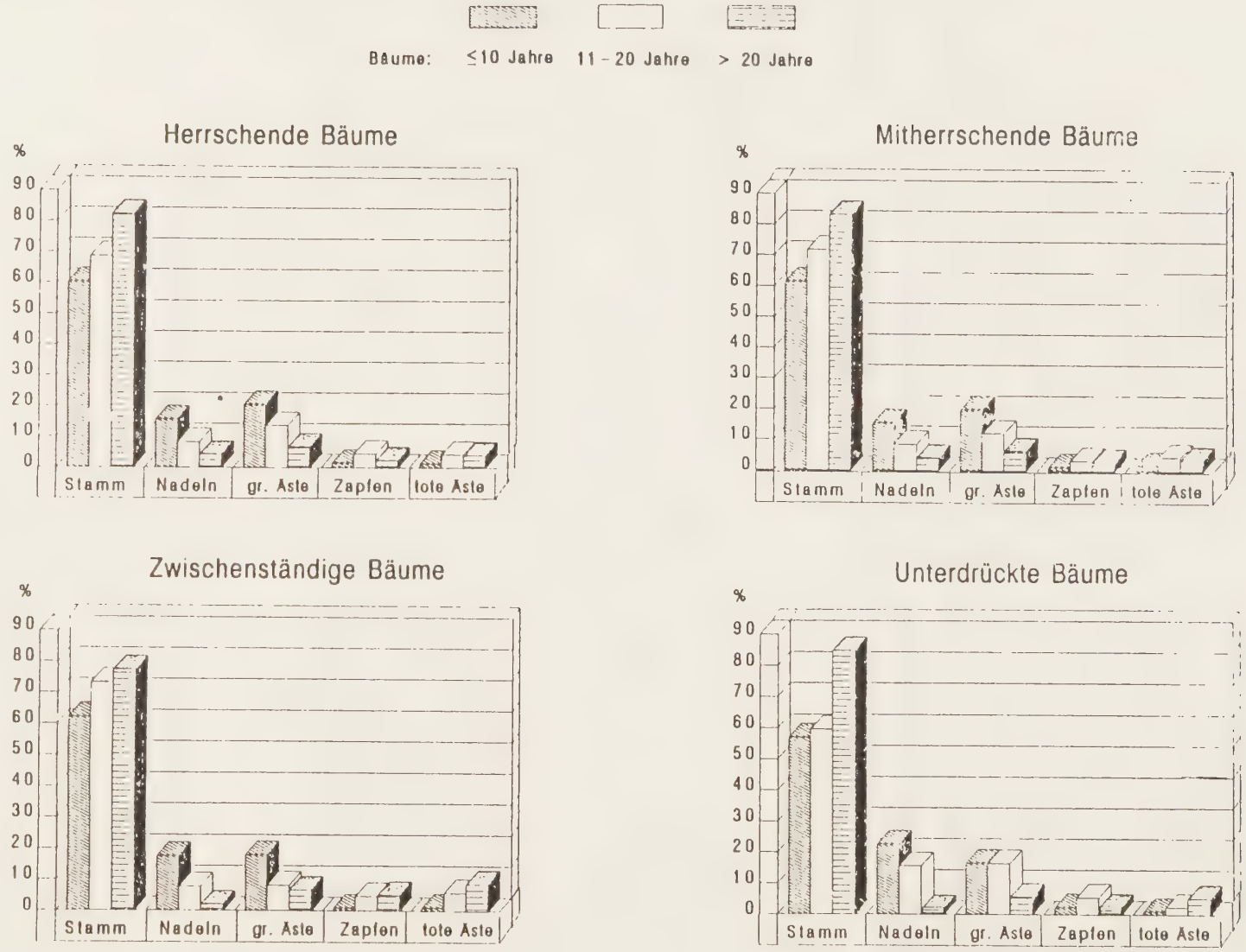
Tab. 23: Prozentuale Verteilung der Gewichte der Baumorgane (über die gesamte Baumbiomasse), aufgeteilt nach Alters- und Baumkronenklassen, wobei: H = herrschende Bäume, M = mitherrschende Bäume, Z = zwischenständige Bäume, U = unterdrückte Bäume bedeuten

STAMM %	NADELN %	GRÜNE ÄSTE %	ZAPFEN %	TOTE ÄSTE %	BAUMKLASSE
		Bäume ≤ 10 Jahre alt			
60,4	15,9	20,7	1,6	1,4	H
61,5	15,5	20,0	1,2	1,8	M
62,2	17,7	18,0	1,0	1,1	Z
57,1	22,7	16,6	2,5	1,1	U
		Bäume zwischen 11 u.20 Jahre alt			
68,8	8,3	13,8	4,5	4,3	H
71,9	8,4	12,1	3,2	4,4	M
73,3	7,9	8,2	4,7	5,9	Z
59,7	15,7	16,5	5,6	2,5	U
		Bäume > 20 Jahre alt			
82,5	4,3	6,8	2,3	4,1	H
83,3	4,0	6,4	2,8	3,5	M
77,4	2,0	6,8	5,1	8,7	Z
84,9	1,8	5,7	2,3	5,3	U

Der größte Teil des Baumgewichtes konzentriert sich für alle Alters- und Baumkronenklassen aud die Stämme, die Werte zwischen 57,1 und 84,9 % des gesamten Gewichtes aufweisen. Ferner erkennt man aus Tab. 23 eine Zunahme des prozentualen Anteils des Stämmgewichtes mit ansteigendem Bäumalter. Dagegen nehmen die prozentualen Gewichtsanteile der grünen Äste und der Nadeln mit größer werdendem Baumalter ab. Der prozentuale Gewichtsanteil der grünen Äste schwankt zwischen 5,7 % für die unterdrückten, älteren Bäume und 20,7 % für die herrschenden, jüngeren Bäume. Der Nadelgewichtsanteil steigt von 1,8 % bei den unterdrückten, älteren Bäumen auf 22,7 % bei den unterdrückten, jüngeren Bäumen an. Der prozentuale Gewichtsanteil der toten Äste zeigt eine logische Steigerung mit zunehmendem Alter der Bäume, nämlich von 1,1 % für die unterdrückten, jüngeren Bäume bis 8,7 % für die zwischenständigen, älteren Bäume. Der mittlere prozentuale Gewichtsanteil der toten Äste für die vier Baumkronenklassen der älteren Bäume (= über 20 Jahre alt) beträgt 5,4 %. Der analoge mittlere Wert beläuft sich auf 4,3 % für die Bäume, die zwischen 11 und 20 Jahre alt sind. Die Zapfen erreichen den höchsten prozentualen Gewichtsanteil von 5,6 % bei den unterdrückten Bäumen der zweiten Altersklasse und den niedrigsten Gewichtsanteil von 1,0 % bei den zwischenständigen jüngeren Bäumen.

Die Abb. 31 vermittelt für jede Alters- und Baumkronenklasse einen graphischen Überblick über diese Gewichtsverteilung. Auffallend ist, daß die prozentualen Stammgewichte immer am größten sind. Auch zeigt die Abb. 31, daß die Differenzen zwischen den prozentuelen Stämmgewichten und den porzentualen Gewichten der anderen Teilen der Bäume deutlich mit zunehmendem Baumalter austeigen, und zwar für alle Baumkronenklassen.

Abb. 31: Prozentuale Gewichtsverteilung der Baumorganen, aufgeteilt nach Baumkronen- und Altersklassen



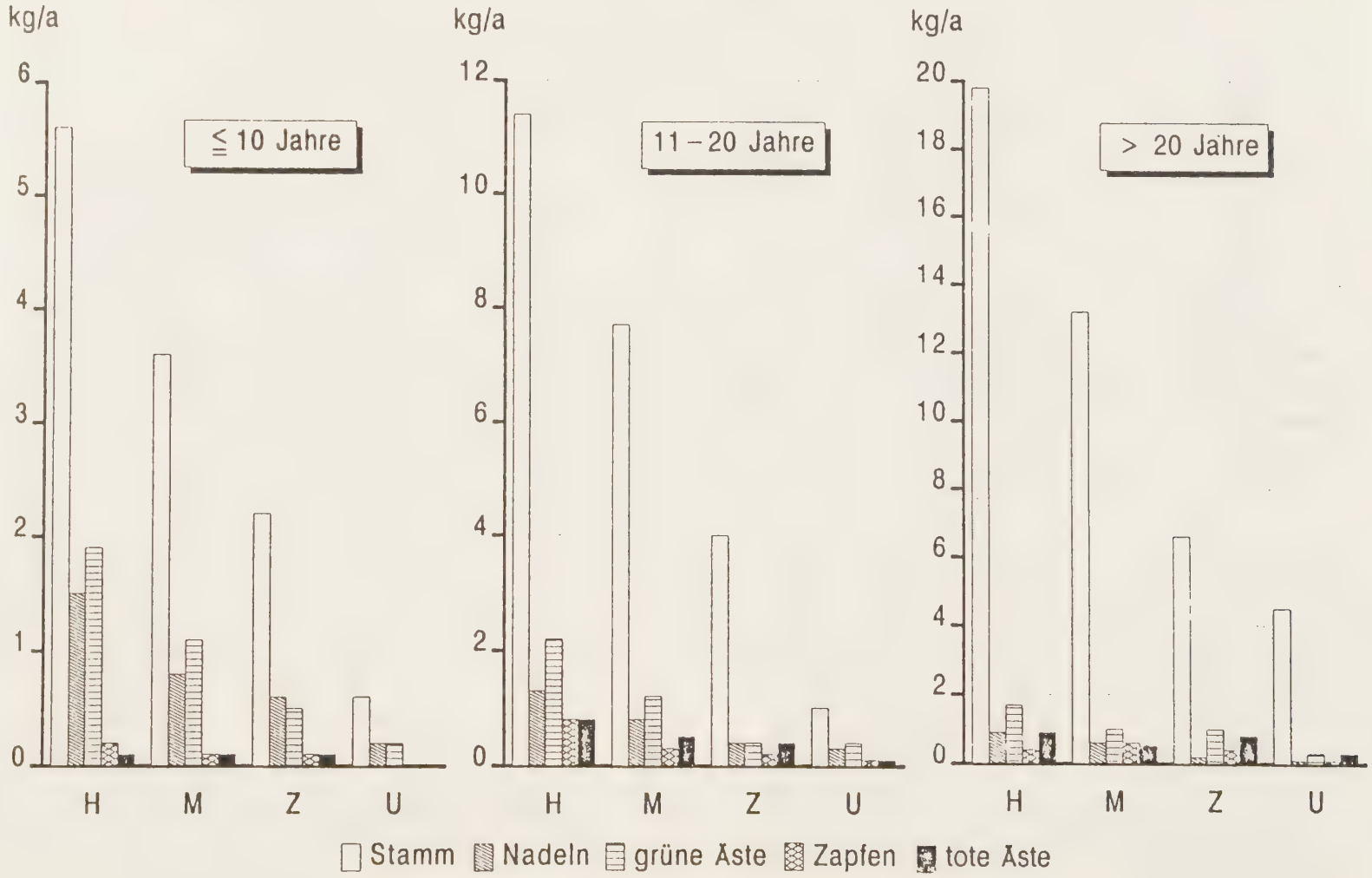
4.1.6. Mittlerer laufender Biomassezuwachs der Bäume

Die Rechnenergebnisse für den mittleren laufenden Biomassezuwachs der Baumorgane und des gesamten Baumes sind in der Tabelle 24 zusammengefaßt. Daraus ist ersichtlich, daß der Biomassezuwachs vom Baumalter und der Baumkronenklasse abhängt. In der Abb. 33 sind die entsprechenden Werte grafisch dargestellt.

Tab. 24.: Mittlerer laufender jährlicher Biomassezuwachs (kg/a) der verschiedenen Teile der Bäume, aufgeteilt nach Alters- und Baumkronenklasse. Mit: H = herrschende Bäume, M = mitherrschende Bäume, Z = zwischenständige Bäume, U = unterdrückte Bäume

BAUMKRONEN-	STAMM	NADELN	GRÜNE ÄSTE	ZAPFEN	TOTE ÄSTE	GESAMTER BAUM
			(kg/a)			
Bäume ≤ 10 Jahre alt						
H	5,6	1,5	1,9	0,2	0,1	9,3
M	3,6	0,8	1,1	0,1	0,1	5,7
Z	2,2	0,6	0,5	0,1	0,1	3,5
U	0,6	0,2	0,2	0,0	0,0	1,0
Bäume zwischen 11 u. 20 Jahre alt						
H	11,4	1,3	2,2	0,8	0,8	16,5
M	7,7	0,8	1,2	0,3	0,5	10,5
Z	4,0	0,4	0,4	0,2	0,4	5,4
U	1,0	0,3	0,4	0,1	0,1	1,9
Bäume > 20 Jahre alt						
H	19,8	0,9	1,7	0,4	0,9	23,7
M	13,2	0,6	1,0	0,6	0,5	15,9
Z	6,6	0,2	1,0	0,4	0,8	8,6
U	4,5	0,1	0,3	0,1	0,3	5,6

Abb. 32: Mittlerer laufender jährlicher (kg/ha) Biomassezuwachs der verschiedenen Teile der Bäume, aufgeteilt nach Alters- und Baumkronenklassen, mit H = herschende Bäume, M = mitherrschende Bäume, Z = zwischenständige Bäume, U = unterdrückte Bäume



Aus der Tab. 24 und der Abb. 33 ist zu entnehmen, daß der mittlere laufende Biomassezuwachs der Stämme die mittleren Zuwächse aller anderen Baumteile übertrifft. An zweiter Stelle steht der Biomassezuwachs der grünen Äste und an dritter Stelle folgt der Nadelbiomassezuwachs. Mit ansteigenden Alter nimmt bei den Stämmen und den toten Ästen der Biomassezuwachs zu, während der Nadelbiomassezuwachs deutlich kleiner wird. Bei jeder Alterklasse ergeben sich hohe Zuwachsraten für die herrschenden Bäume und niedrige Zuwachsraten für die unterdrückten Bäume. Die Extremwerte de Zuwachses für die Stämme betragen 19,8 kg/a für die herrschenden, älteren Bäume und 0,6 kg/a für die unterdrückten, jüngeren Bäume. Dagegen erreicht der Nadelzuwachs den höchsten Werte von 1,5 kg/a bei den herrschenden, jüngeren Bäume und den niedrigsten Wert von 0,1 kg/a bei den unterdrückten, älteren Bäume. Der mittlere laufende Zuwachs der grünen Äste schwankt zwischen 2,2 kg/a für die herrschenden Bäume im Alter zwischen 11 und 20 Jahren sowie 0,2 kg/a für die unterdrückten, jüngeren Bäume. Bei den toten Ästen haben die Bäume unter 11 Jahre mit 0,0 bis 0,1 kg/a die niedrigsten Zuwachsraten. Auch bei den Zapfen weisen die jungen Bäume mit 0,0 bis 0,2 kg/a die geringsten Zuwächse auf. Der höchste Zuwachs für die toten Äste von 0,9 kg/a wird bei den herrschenden, älteren Baümen erreicht. Die höchste Zuwachsrate für die Zapfen von 0,8 kh/a tritt bei den herrschenden Bäume auf, die zwischen 11 und 20 Jahre alt sind.

Der mittlere laufende Biomassezuwachs der gesamten Bäume steigt in jeder Alterklasse von den unterdrückten zu den herrschenden Bäumen an. Bei den jüngeren Bäumen schwanken die Zuwachsraten zwischen 1,0 und 9,3 kg/a, bei den Bäumen, die zwischen 11 und 20 Jahre alt sind, zwischen 1,9 und 16,5 kg/a und bei den älteren Bäumen zwischen 5,6 und 23,7 kg/a. Der Biomassezuwachs der gesamten, jüngeren Bäume ist bei den herrschenden Bäume um ca. das 9-fache größer als bei den unterdrückten Bäumen. Bei den Bäumen, die zwischen 11 und 20 Jahren alt sind, beträgt dieser Faktor knapp 9, und bei den älteren Bäumen beläuft er sich auf ca. 4 kg/a.

Zwischen den herrschenden und den mitherrschenden Bäumen unterscheidet sich diese Zuwachsrate um ca.160 % für die jüngeren Bäume bis ca. 150 % für die älteren Bäumen. Zwischen den herrschenden und den zwischenständigen Bäumen schwankt dieser prozentuale Unterschied zwischen ca. 300 % für die Bäume, die zwischen 11 und 20 Jahre alt sind, und ca. 270 % für die jüngeren Bäume.

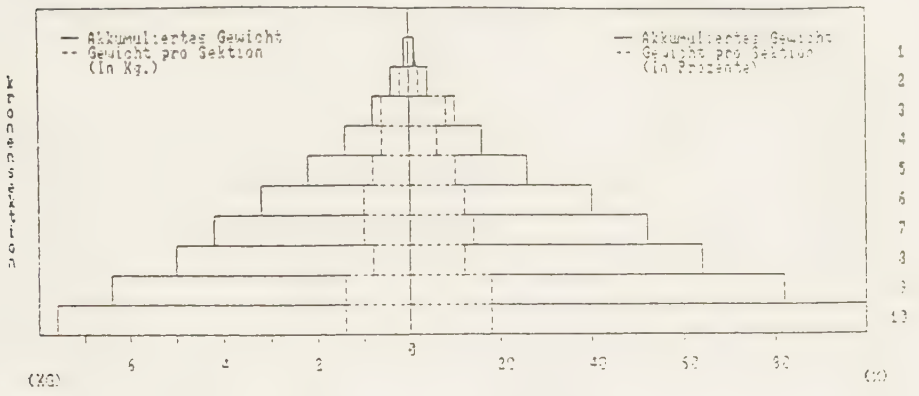
4.1.7. Verteilung der Nadelbiomasse in den Baumkronen

MITSCHERLICH (1970) hat darauf hingewiesen, daß die größte Nadelmasse dort im Baum zu erwarten ist, wo die Beleuchtungsverhältnisse am günstigsten sind und eine ausreichende Zahl von Zweigen ausgebildet ist, die Nadeln tragen können. Demnach hängt die vertikale Verteilung des Nadeltrockengewichtes der Bäume und Bestände vom Baum- und Bestandsalter sowie von der damit verbundenen Entwicklung des Kronendaches ab. Für die Beschreibung der vertikalen Verteilung der Nadeln in der Baumkrone haben MITSCHERLICH et al. (zitiert bei MITSCHERLICH, 1970) in einem 34-jährigen Douglasienbestand bei Freiburg und GARI (1976) in einem 80-jährigen Murray-Kiefernbestand (Pinus contorta) in Wyoming die Verwendung von verschiedenen Verteilungskurven für herrschende, mitherrschende, zwischenständige und unterdrückte Bäume empfohlen (Vgl. MATZUDA, 1975).

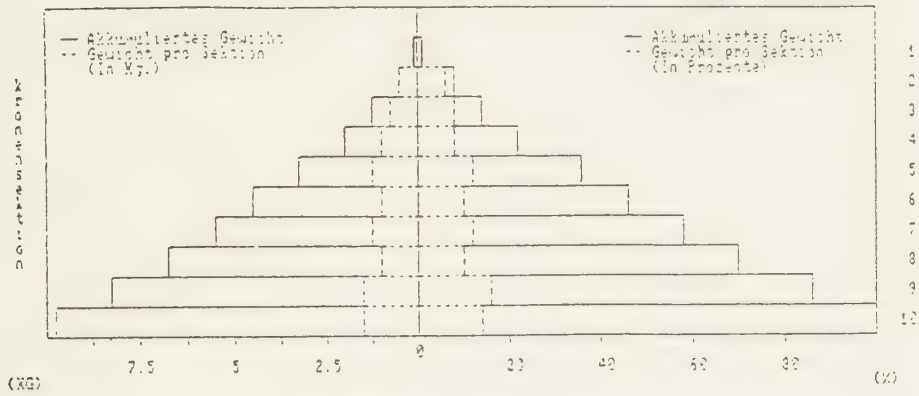
Um die Verteilung der Nadelbiomasse innerhalb der Kronen von einigen Pinus radiata Bäume zu untersuchen und eine Differenzierung des Kronenraums nach einem vertikalen Schichtungsmerkmal herbeizuführen, wurden die Kronen der Stichprobenbäume mit einem Alter zwischen 7 und 15 Jahren (Abhang I) in zehn gleichlange Sektionen unterteilt. Für sie zeigen die folgenden Abb. 33 und 34 die mittleren Nadeltrockengewichte und ihre akkumulierten Werte in absoluten und prozentualen Angaben, wobei als Basis Bäume im Alter von 7, 10, 12 und 15 Jahren dienten. In der Abb. 33 sind die mittleren Werte von 47 herrschenden und 56 mitherrschenden Bäumen zusammengestellt; die Abb. 34 enthält die mittleren Werte von 32 zwischenständigen Bäumen.

Aus der Abb. 33 folgt, daß sich die Verteilung der Nadelgewichte mit dem Alter der Bäume ändert. Bei den 7 Jahre alten Bäumen konzentrieren sich ca. 70 % der Nadeltrockengewichtsanteile auf die unteren fünf Kronenschichten. Mit dem Alter der Bäume nehmen die Kronenüberschirmung und die Kronenkonkurrenz stärker zu. Die Bäume, die 15 Jahre alt sind, zeigen die für geschlossene Bestände normale vertikale Verteilung de Nadelgewichte in den Baumkrone mit einem Schwerpunkt im Mittelkronenraum (STEPHENS, 1968 ; von DROSTE, 1969 ; MATSUDA und BAUMGARTNER, 1975 ; MITSCHERLICH, 1970 ; GARI, 1976 ; INFOR, 1975 ; PRETZSCH, 1985). In diesen Bäumen befinden sich die Sektionen mit den meisten Trockengewichtsanteilen in der 4. bis 8. Kronenschicht, wobei der Nadeltrockengewichtsanteil ca. 62 % beträgt.

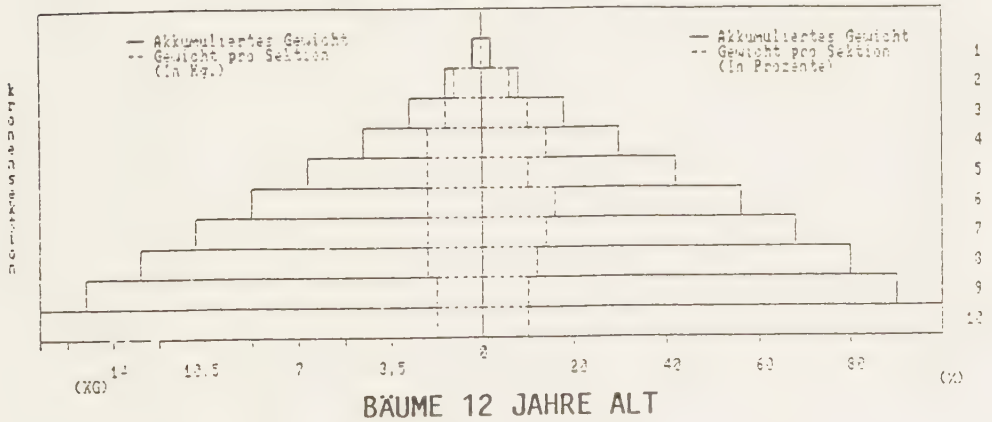
Abb. 33: Vertikale Verteilung des Nadeltrockengewichtes in der Krone für herrschende und mitherrschende Pinus radiata Bäume



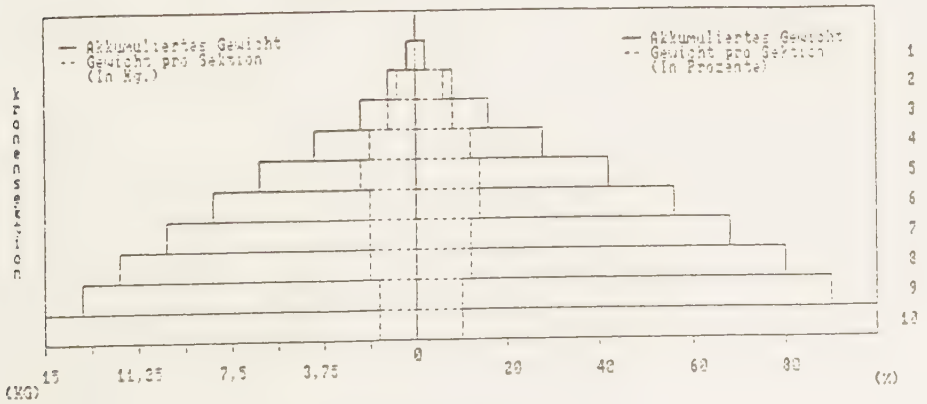
BÄUME 7 JAHRE ALT



BÄUME 10 JAHRE ALT

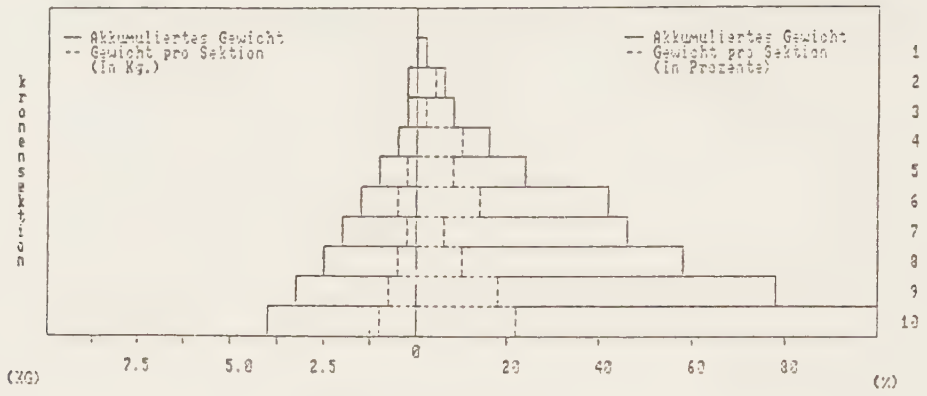


BÄUME 12 JAHRE ALT

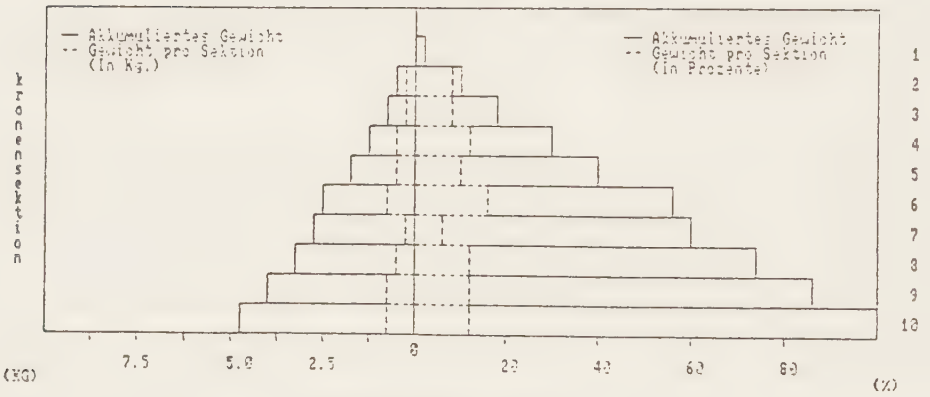


BÄUME 15 JAHRE ALT

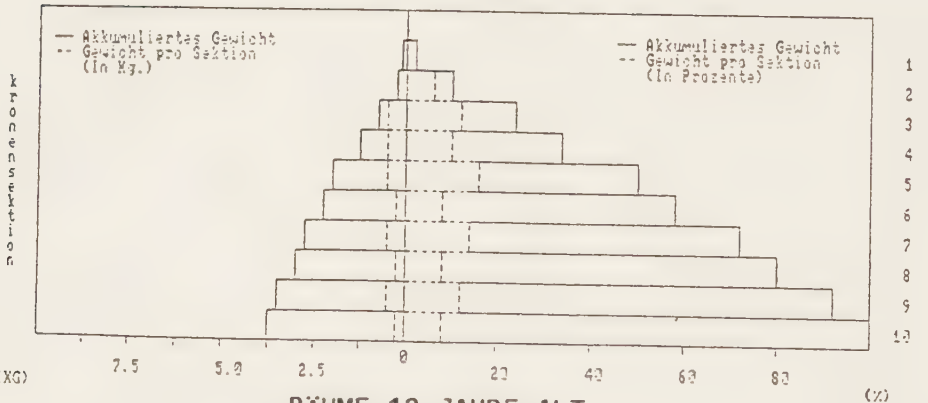
Abb. 34: Vertikale Verteilung des Nadeltrockengewichtes in der Krone für zwischenständige Pinus radiata Bäume



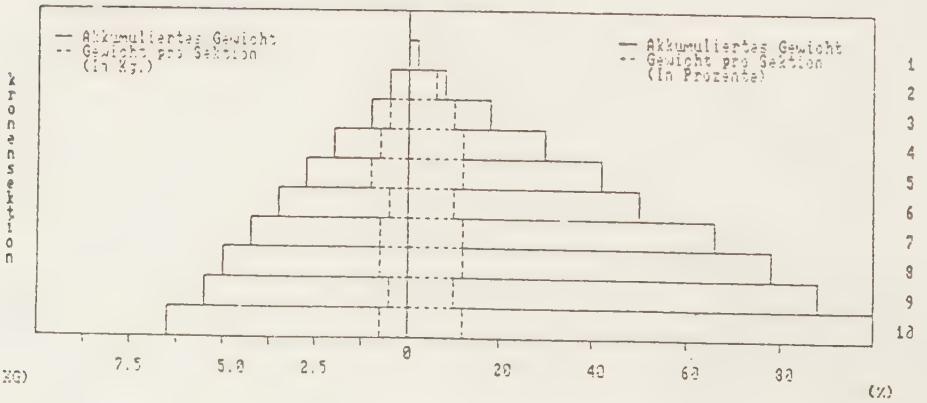
BÄUME 7 JAHRE ALT



BÄUME 10 JAHRE ALT



BÄUME 12 JAHRE ALT



BÄUME 15 JAHRE ALT

Bei den zwischenständigen Bäumen (Abb. 34) ist die Nadelbiomasse für jedes Baumalter asymmetrich verteilt, wobei die Schwerpunkte im Kronenbereich liegen, wo die Äste und Zweige genügend Raum und Beleuchtung für ihre Entwicklung finden.

Bei allen Aufnahmen fehlen ältere Baumklassen. Das liegt daran, daß die Plantagen relativ jung sind, und aufgrund des Betriebszieles (z.B. Rohstoff für Papierproduktion) Umtriebszeiten von ca. 20 - 25 Jahren regulär sind.

4.2. Beziehungen zwischen klimatologischen Parametern und potentieller Produktivität von Pinus radiata Plantagen

Um Beziehungen zwischen klimatologischen Parametern und der potentiellen Produktivität von Pinus radiata Plantagen zu ermitteln, wurden die im Abschnichttl 3.1.4. beschriebenen Verfahren benutzt. Aus verschiedenen Untersuchungen folgt, daß der Standortsindex von Pinus radiata Beständen teilweise von klimatologischen Parametern abhängt. Alle Modellentwicklungen hierzu weisen auf die große Bedeutung der Niederschlagssumme (HUNTER und GILSON, 1984 ; GARCIA, 1982 ; SCHLATTER et al., 1982) und eine geringere Bedeutung der mittleren jährlichen Lufttemperatur (HUNTER und GILSON, 1984), des mittleren jährlichen hygrischen Defizits und der mittleren maximalen Lufttemperatur im Juli (INFOR, 1986) hin.

Die Abhängigkeit des Biomassezuwachses der Pinus radiata Bäume in australischen Plantagen von den klimatologischen Parametern, wie mittlere tägliche Globalstrahlungssumme, mittlere tägliche Lufttemperatur, mittlere wöchentliche Niederschlagssumme und mittlere wöchentliche Gradtagesumme, wurde von BOOTH und SAUNDERS (1980) untersucht. Forscher des Instituto Forestal-Chile haben ein Modell geprüft, um das Stammvolumen ohne Rinde (m^3 o.R./ha) von Pinus radiata Plantagen, die 20 bis 25 Jahre alt sind, in Abhängigkeit von mittleren jährlichen hygrische Defizit (mm) und von der mittleren minimalen Lufttemperatur im Juli (°C) zu bestimmen (INFOR, 1986).

Über eine stufenweisen Regressionsanalyse und Daten von 182 Stichprobenbeständen wurden hier die Beziehungen zwischen dem Produktivitätsindex (PI) und verschiedenen klimatologischen Parametern getestet. Als Produktivitätsindex wird dabei der mittlere jährliche Trockengewichtszuwachs (t/ha) von 12 Jahre alten Beständen definiert. Die gleichen Verfahren und Daten von nur 157 Stichprobenbeständen wurden angewendet, um Beziehungen zwischen dem Standortsindex (SI), als der Höhe (in m) von 20 Jahre alten Plantagen, und klimatologischen Variabeln zu prüfen. Im Anhang II sind die klimatologischen Daten und die Kenngrößen der 182 Stichprobenbeständen zusammengestellt.

Die verwendeten unabhängigen klimatologischen Parameter waren folgende Mittelwerte über meistens 30 Jahre:

Mittlere maximale Lufttemperatur im Januar (HTJr), mittlere minimale Lufttemperatur im Januar (TTJr), mittlere maximale Lufttemperatur im Juli (HTJi), mittlere minimale Lufttemperatur im Juli (TTJi), mittlere tägliche Globalstrahlungssumme im Januar (GJr), mittlere tägliche Globalstrahlungssumme im Juli (GJi), mittlere Luftfeuchtigkeit im Januar (RHJr), mittlere Luftfeuchtigkeit im Juli (RHJi), Sommerniederschlagssumme (Ns), Winterniederschlagssumme (Nw), Jahresniederschlagssumme (N), potentielle Evapotranspiration (ETP), hygrisches Defizit (HD), jährliche Summe der Tagesmittelwerte der Luftemperatur > 10 °C, gerechnet in Gradtagen (JTS), jährliche Kältesstundensumme (JKS) (siehe Abschnitt 3.1.4.1.), frostfreie Periode (FFP), Sommerfeuchtigkeitsindex (SFI), Winterfeuchtigkeitsindex (WFI), jährlicher Feuchtigkeitsindex (JFI), Länge der Trockenperiode (LTP) und Länge der Vegetationsperiode (VWR). In der Tab. 25 sind für das Untersuchungsgebiet Mittel- und Extremwerte dieser klimatologischen Parameter und der Produktivitätskenngrößen SI und PI für Pinus radiata Plantagen zusammengestellt.

4.2.1. Modell für die Bestimmung des Standortsindex in Abhängigkeit von klimatologischen Parametern

Insgesamt wurden Daten von 157 Stichprobenbeständen, die sich zwischen Valparaíso und Río Bueno erstrecken, benutzt, um die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Standortsindex (SI) und klimatologischen Parametern zu ermitteln. In der Tab. 26 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Standortsindex SI, dem Produktivitätsindex PI und klimatologischen Parametern zusammengefaßt. Die höheren Korrelationskoeffizienten werden mit der Winterniederschlagsumme (0,59), der jährlichen Niederschlagssumme (0,55), dem jährlichen Feuchtigkeitsindex (0,55), der mittleren minimalen Lufttemperatur im Januar (-0,53) und dem Winterfeuchtigkeitsindex (0,53) erzielt. Niedrige Korrelationskoeffizienten treten bei der mittleren täglichen Globalstrahlungssumme im Januar (0,02) und der mittleren maximalen Lufttemperatur im Juli (0,06) auf. Aus der Tab. 26 ist auch abzuleiten, daß signifikante Autokorrelationen zwischen Parametern der gleichen Art be-

stehen, z. B. zwischen der Winterniederschlagssumme und der jährlicher Niederschlagssumme (0,95) oder dem Sommerfeuchtigkeitsindex und dem jährlichem Feuchtigkeitsindex (0,86). Eine Regressionsanalyse soll daher nur einen Parameter aus einem Paar mit einer höheren Autokorrelation berücksichtigen.

Tab. 25: Mittel- und Extremwerte der verwendeten klimatologischen Parameter und Produktivitätskenngrößen im Untersuchungsgebiet über einen Zeitraum von meistens 30 Jahren

Klimatologische Parameter	Einheit	Maximum	Minimum	Mittelwert
HTJr	°C	28,4	20,0	24,0
TTJr	°C	15,8	9,3	11,7
HTJi	°C	14,4	10,7	12,5
TTJI	°C	7,8	3,0	4,8
GJr	ly/d	616	420	571
GJi	ly/d	156	70	120
RHJr	%	81	57	69
RHJi	%	90	80	85
Ns	mm	296	10	70
Nw	mm	1571	184	736
N	mm	2500	325	1280
ETP	mm	1269	780	967
HD	mm	785	45	537
JTS	Gradtage	1823	650	1260
JKS	Stunden	1173	234	646
FFP	Tage	365	240	315
SFI	dimensionslos	0,90	0,02	0,19
WFI	dimensionslos	23,0	3,1	10,2
JFI	dimensionslos	1,95	0,38	1,06
LTP	Tage	8,0	0,3	5,1
VWR	Tage	142	31	88

Produktivitäts-kenngrößen		Maximun	Minimun	Mittelwert
SI	m	33,7	19,8	26,2
PI	t/ha a	29,2	4,8	14,1

Tab. 26: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen Standortsindex SI, Produktivitätsindex PI und klimatologischen Parametern (Erläuterung der Symbole im Text)

Parameter	HTJr	TTJr	HTJi	TTHi	GJr	GJi	RHJr	RHJi	Ns	Nw	N	ETP	HD	JTS	JKS	FFP	SFI	WFI	JFI	LTP	VWR	SI	PI
HTJr	1,00																						
TTJr	-0,32	1,00																					
HTJi	0,48	-0,25	1,00																				
TTJi	-0,23	0,53	0,37	1,00																			
GJr	0,61	-0,11	0,89	0,34	1,00																		
GJi	0,17	0,67	0,26	0,60	0,44	1,00																	
RHJr	-0,52	0,63	-0,53	0,43	-0,49	0,36	1,00																
RHJi	-0,58	0,15	-0,44	0,30	-0,53	-0,10	0,68	1,00															
Ns	-0,20	-0,56	-0,34	-0,67	-0,52	-0,85	-0,25	0,08	1,00														
Nw	0,16	-0,81	0,03	-0,67	-0,07	-0,79	-0,67	-0,30	0,63	1,00													
N	0,06	-0,80	-0,10	-0,74	-0,24	-0,88	-0,57	-0,19	0,83	0,95	1,00												
ETP	0,48	0,42	0,29	0,36	0,50	0,87	0,20	-0,20	-0,69	-0,66	-0,71	1,00											
HD	0,25	0,62	0,40	0,69	0,57	0,93	0,23	-0,14	-0,90	-0,76	-0,88	0,82	1,00										
JTS	0,32	0,56	0,30	0,51	0,49	0,75	0,12	-0,22	-0,80	-0,56	-0,70	0,68	0,83	1,00									
JKS	0,27	-0,65	-0,31	-0,94	-0,33	-0,66	-0,44	-0,23	0,69	0,76	0,81	-0,40	-0,73	-0,55	1,00								
FFP	-0,11	0,57	0,31	0,81	0,38	0,83	0,49	0,19	-0,74	-0,81	-0,85	0,67	0,79	0,54	-0,84	1,00							
SFI	-0,16	-0,61	-0,39	-0,72	-0,56	-0,91	-0,25	0,10	0,93	0,72	0,86	-0,74	-0,97	-0,80	0,75	-0,81	1,00						
WFI	0,05	-0,77	-0,14	-0,75	-0,27	-0,88	-0,53	-0,16	0,79	0,91	0,95	-0,72	-0,91	-0,72	0,80	-0,85	0,90	1,00					
JFI	0,04	-0,79	-0,11	-0,74	-0,25	-0,88	-0,56	-0,18	0,83	0,95	0,99	-0,71	-0,89	-0,71	0,81	-0,85	0,86	0,95	1,00				
LTP	0,03	0,74	0,26	0,76	0,42	0,92	0,40	0,01	-0,93	-0,82	-0,94	0,72	0,94	0,80	-0,81	0,85	-0,96	-0,94	-0,94	1,00			
VWR	0,13	-0,79	-0,30	-0,84	-0,36	-0,82	-0,40	-0,03	0,81	0,79	0,88	-0,54	-0,86	-0,72	0,90	-0,80	0,87	0,88	0,88	-0,92	1,00		
SI	0,17	-0,53	0,06	-0,38	0,02	-0,49	-0,41	-0,10	0,35	0,59	0,55	-0,33	-0,44	-0,37	0,46	-0,45	0,41	0,53	0,55	-0,49	0,51	1,00	
PI	0,04	-0,44	0,14	-0,31	0,02	-0,47	-0,42	-0,19	0,39	0,49	0,50	-0,41	-0,43	-0,39	0,33	-0,35	0,39	0,49	0,50	-0,46	0,40	0,79	1,00

Um das Klima-Standortsindex-Modell zu entwickeln, wurden normale und logarithmische Funktionen von der folgenden Art geprüft:

$$Y = a + b*X1 + c*X2 + d*X3 + e*X4... \quad (16)$$

$$\ln Y = a + b*\ln X1 + c*\ln X2 + d*\ln X3 + e*\ln X4... \quad (17)$$

wobei: Y = Standortsindex

X1, X2, X3, X4 = klimatologische Parameter (Einzelgrößen oder Kombinationen davon)

Außer den im Abschnitt 4.1.4 beschriebenen Kriterien wurde für die Modellauswahl auch der "Mittlere quadratische Fehler" (MQF) beachtet. Der Ansatz für MQF lautet:

$$MQF = [\sqrt{\Sigma(xm - xb)^2/n} \; / \; Xm \;] * 100 \quad (18)$$

mit: MQF = mittlerer quadratischer Fehler (in %)

xm = Realwerte

xb = Schätzwerte

Xm = Mittlere Realwerte (arithmetischer Durchschnitt)

n = Anzahl der Werte

MQF diente als Prüfgröße, um verschiedene logarithmische Modelle zu vergleichen, weil dafür der Standardfehler nicht geignet ist, wenn die abhängige Variable logarithmische Werte hat. Modelle mit MQF-Werten kleiner als 30 % werden in der Literatur als akzeptabel angenommen (KOZAK, 1970 ; INFOR, 1985).

Über eine stufenweise Regressionsanalyse wurde die Potenzfunktion:

$$Y = 1{,}1264*(Nw*FFP)^{0{,}1763} \qquad (19)$$

mit Y = Standortsindex (für 20 Jahre alte Bestände) in m
Nw = jährliche Winterniederschlagssumme in mm
FFP = jährliche frostfreie Periode in Tagen

als Modell ausgewählt.

In der Tab. 27 sind die Regressionskoeffizienten und die statistischen Kennwerte für das Modell (19) zusammengestellt. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,76. Der Standardfehler erreicht den logarithmischen Wert von 0,084;, dies entspricht einem Normalwert von 1,088. Das Modell ist bei einer Vertrauensgrenze von 1% signifikant (= **).

Tab. 27: Regressionskoeffizienten und statistische Kennwerte des Modells (19) zur Schätzung des Standortsindex SI (m) von 20 Jahre alten Pinus radiata Plantagen aus der Winterniederschlagssumme (mm) und der jährlichen frostfreien Periode (Anzahl der Tage)

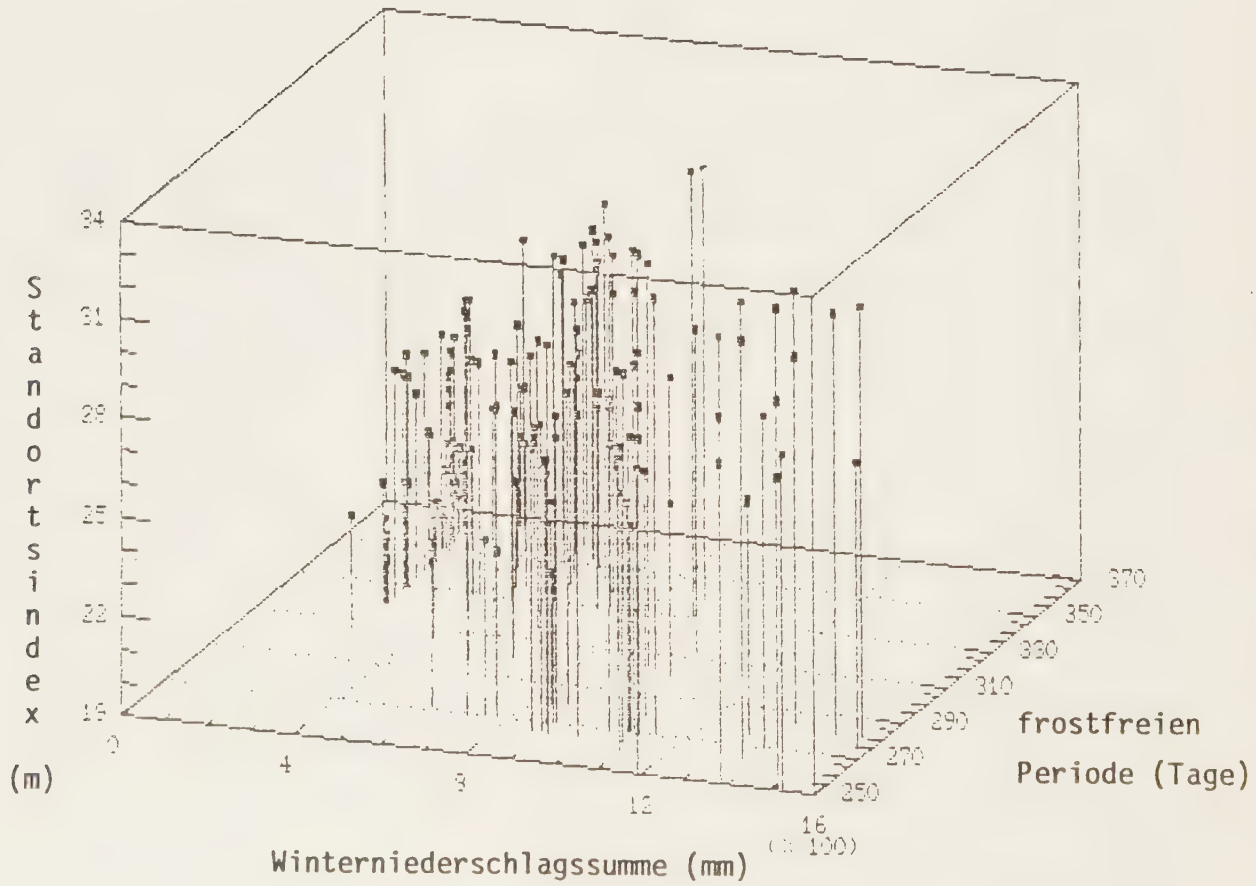
Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizienten a	b	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
182	2,0988	0,5623	0,57	0,272	237,28	**

Die aus (19) abgeleitete, korrigierte linearisierte Schätzfunktion lautet:

$$Y = \exp(1{,}1264 + 0{,}1763 \ln(Nw*FFP) + (0{,}084)^2/2) \qquad (20)$$

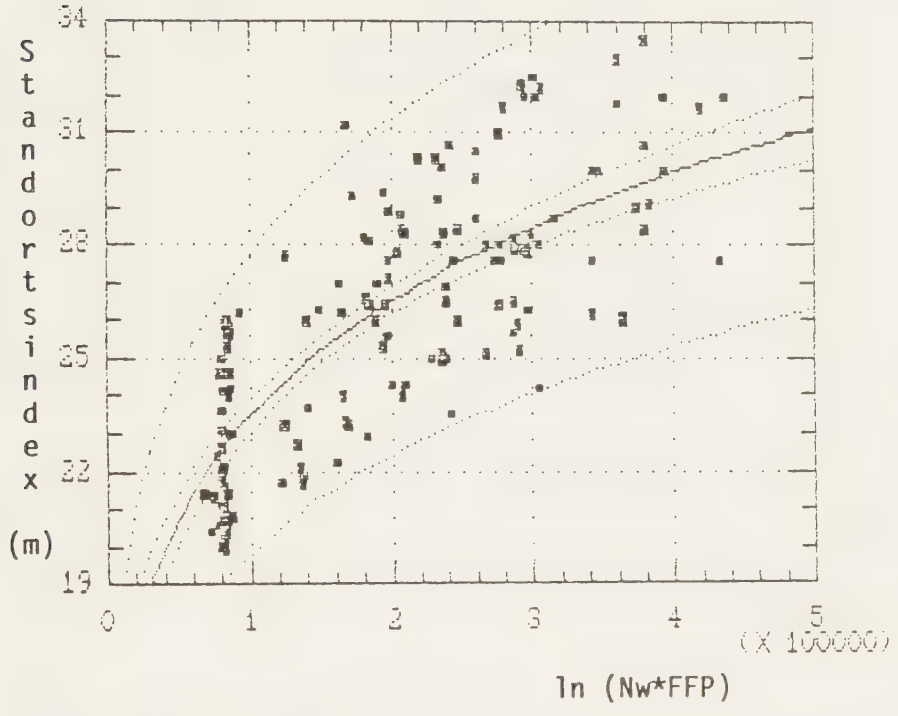
In der Abb. 35 ist das Verteilungsdiagramm der Meßwerte des Standortsindex SI in einer dreidimensionalen Darstellung enthalten. Daraus erkennt man ein eindeutiges Anwachsen von SI mit zunehmender Winterniederschlagssumme.

Abb. 35: Verteilungsdiagramm der gemessenen Werte des Standortsindex SI von Pinus radiata in Abhängigkeit von der Winternierderschlagssumme Nw und der Länge der jährlichen frostfreien Periode FFP



Der Kurvenverlauf der nicht korrigierten Schätzfunktion (19) ist einschließlich der Toleranzgrenzen für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von p = 5 % und 1 % in der Abb. 36 dargestellt.

Abb. 36: Standortsindex SI (m) von 20 Jahre alten Pinus radiata Plantagen in Abhängigkeit von der Winterniederschlagssumme Nw (mm) und der jährlichen frostfreien Periode FFP (Tage): Schätzmodell (19), Grenzen für 1 % und 5 % Überschreitungswahrscheinlichkeiten und Meßwerte

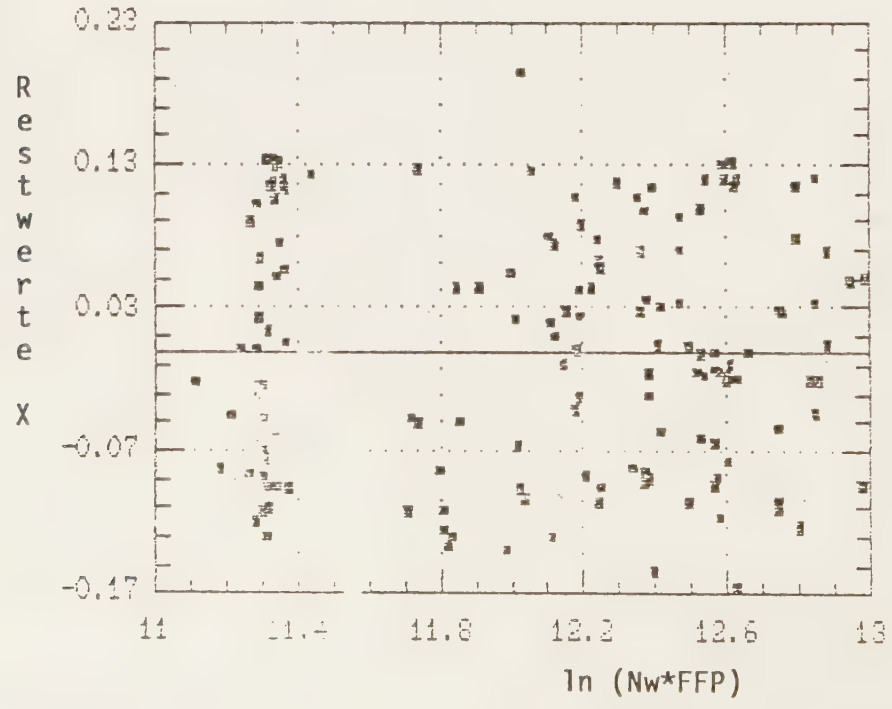


Das Modell (20) für den Standortsindex wurde mit Daten von 15 anderen Stichprobenbeständen, die nicht in die Korrelationsanalyse miteinbezogen worden waren, durch die t-Wert- Signifikanzprüfung validiert. In der Tab. 28 sind die Meß-, die Schätz- und die Restwerte für diese Stichprobenbestände zusamengefaßt. Die Restwerte der 15 Validierungsbestände schwanken zwischen -3,94 und 2,85 m. Der MQF der Validierungsdaten hat einen Wert von 7,69 %, d. h. das Modell weist keine bedeutungsvollen systematischen oder zufälligen Verfälschungen auf. Das wird durch die gleichmäßige Verteilung der Restwerte des Schätzmodells bestätigt (Abb. 37).

Tab. 28: Vergleich zwischen Meß- und Schätzwerten bei den Validierungsbeständen für den Standortsindex

BESTAND	Meßwerte (m)	Schätzwerte (m)	Restwerte (m)
1	27,60	28,65	1,05
2	28,00	27,62	-0,38
3	26,10	28,95	2,85
4	27,80	26,88	-0,92
5	26,30	25,09	-1,21
6	28,40	27.09	-1,31
7	25,10	26,89	1,79
8	30,50	29,08	-1,42
9	32,00	28.06	-3,94
10	20,60	22,85	2,25
11	24,90	27,64	2,74
12	23,50	25,71	2,21
13	28,10	26,30	-1,80
14	20,70	22,95	2,25
15	22,00	22,75	0,75

Abb. 37: Restwerteverteilung der über (19) berechneten Standortsindexwerte



Restwerte (angegebn als Exponent X zur Basis e; Restwerte e^X in mm)

4.2.2. Modell für die Bestimmung des Produktivitätsindex in Abhängigkeit von klimatologischen Parametern

Daten von 182 Stichprobenbeständen zwischen Valparaíso und Río Bueno wurden verwendet, um Korrelationskoeffizienten zwischen dem Produktivitätsindex (= mittlerer jährlicher Trockengewichtszuwachs von 12 Jahre alten Pinus radiata Plantagen) und klimatologischen Parametern zu ermitteln. Diese Korrelationskoeffizienten sind ebenfalls in Tab. 26 enthalten. Höhere Korrelationskoeffizienten ergeben sich mit der jährlichen Niederschlagssumme (0,50), dem jährlichen Feuchtigkeitsindex (0,50), der Winterniederschlagssumme (0,49) und dem Winterfeuchtigkeitsindex (0,49). Niedrige Korrelationskoeffizienten treten bei der mittleren täglichen Globalstrahlungsumme im Januar (0,02) und der mittleren maximalen Lufttemperatur im Januar (0,04) auf.

Lineare und logarithmische Funktionen wurden über eine stufenweise Regressionsanalyse geprüft, um ein Schätzmodell für den Produktivitätsindex PI zu erhalten. Als am geeignetsten erwies sich die Potenzfunktion:

$$Y = 2{,}0988*(N*FFP)^{0{,}5627} \qquad (21)$$

mit Y = Produktivitätsindex (t/ha a)
N = jährliche Niederschlagssumme (mm)
FFP = jährliche frostfreie Periode (Anzahl von Tagen)

Die Regressionskoeffizienten und die statistischen Kennwerte des Modells (21) sind in der Tab. 29 zusammengestellt. Der Korrelationskoeffizient der Schätzgleichung (21) beträgt 0,75. Der Standardfehler hat einen logarithmischen Wert von 0,272, was einem Normalwert von 1,313 entspricht. Das Modell ist bei einer Vertrauensgrenze von 1% signifikant (= **).

Tab. 29: Regressionskoeffizienten a und b sowie statistische Kennwerte des Modells (21) zur Schätzung des Produktivitätsindex (t/ha a) von 12 Jahre alten Pinus radiata Plantagen aus der jährlichen Niederschlagssumme (mm) und der jährlichen frostfreien Periode (Anzahl der Tage)

Stichproben-anzahl	Regressions-koeffizienten a	b	Bestimmt-heitsmaß	Standard-fehler	F-Wert	Signifikanz-grad
182	2,0988	0,5623	0,57	0,272	237,28	**

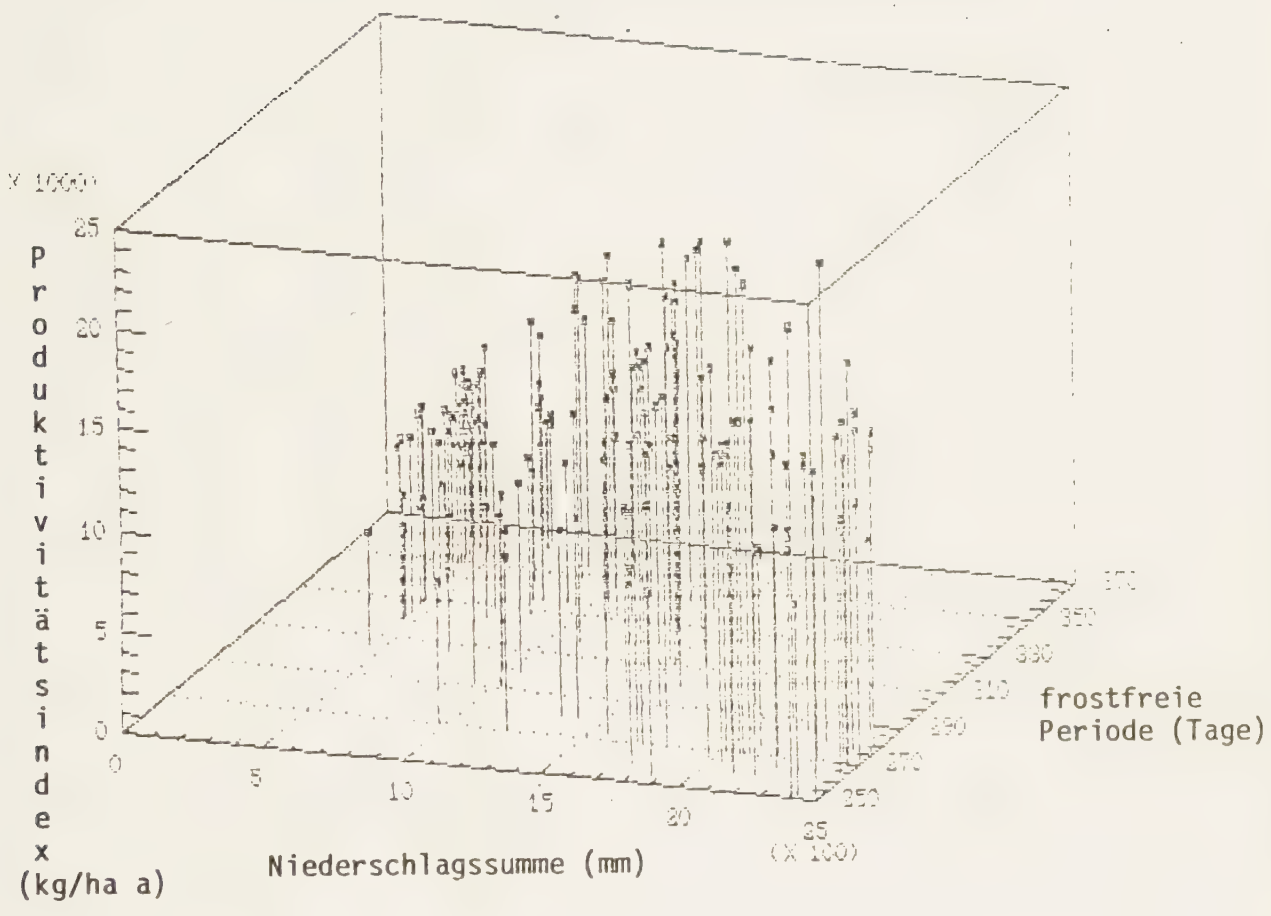
Das aus (21) abgeleitete, korrigierte linearisierte Modell lautet:

$$Y = \exp(2{,}0988 + 0{,}5627 \ln (N*FFP) + (0{,}272)^2/2) \qquad (22)$$

Die Abb. 38 zeigt für jeden Stichprobenbestand das dreidimensionale Verteilungsdiagramm des gemessenen Produktivitätsindex (PI), der jährlichen Niederschlagssumme und der jährlichen frostfreien Periode. Man erkennt eine Zunahme des Produktivitätsindex mit ansteigender jährlicher Niederschlagssumme.

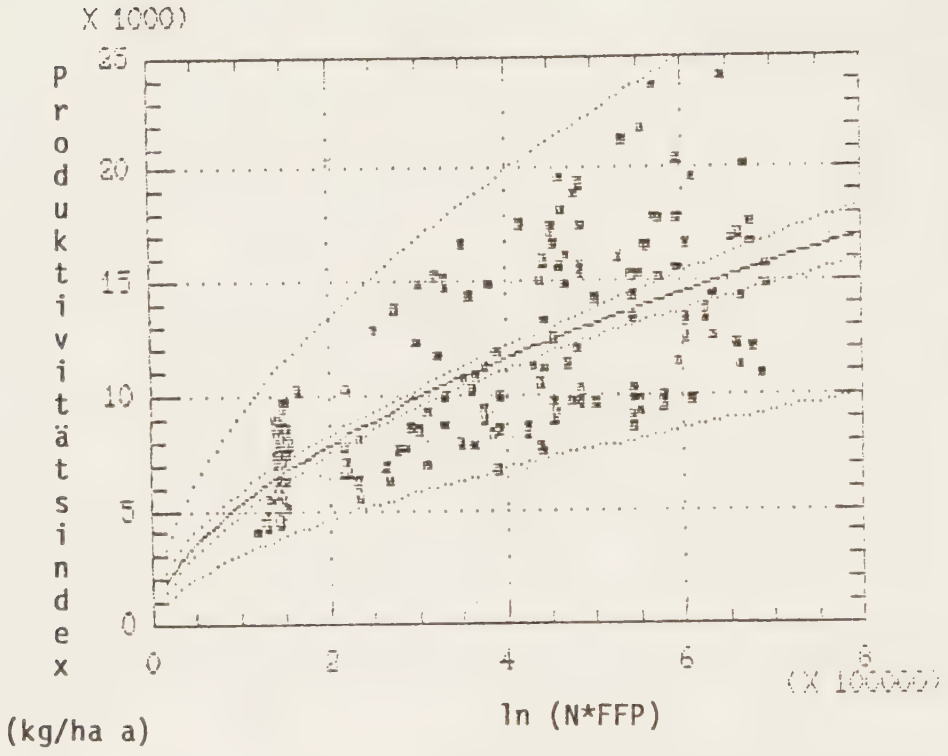
Der Kurvenverlauf für das nicht korrigierte Modell (21) ist einschließlich der Toleranzgrenzen für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von p = 5 % und 1 % in der Abb. 39 dargestellt. Dabei zeigt sich, daß sich alle Meßwerte relativ breit gestreut zwischen den Grenzen für p = 5 % verteilen.

Abb. 38: Dreidimensionale Verteilung der gemessenen Werte des Produktivitätsindex PI von Pinus radiata in Abhängigkeit von der jährlichen Niederschlagssumme N und der Länge der jährlichen frostfreien Periode FFP



Das Modell (22) wurde mit Daten von 17 anderen Stichprobenbeständen, die sich über das ganze Untersuchungsgebiet erstrecken und die nicht in die Korrelationsberechnung miteinbezogen worden waren, durch die t-Wert-Signifikanzprüfung validiert. Die Tab. 30 enthält die entsprechenden Meß-, Schätz- und Restwerte der 17 Validierungs-Stichprobenbestände. MQF der Validierungsdaten beträgt 24,86 %. Die Restwerte der Validierungsbestände schwanken zwischen 3,64 und -3,56 t/ha a.

Abb. 39: Produktivitätsindex (t/ha a) von 12 Jahre alten Pinus radiata Plantagen in Abhängigkeit von der jährlichen Niederschlagssumme (mm) und der jährlichen frostfreien Periode (Anzahl von Tagen): Schätzmodell (21), Grenzen für 1% und 5 % Überschreitungswahrscheinlichkeiten und Meßwerte

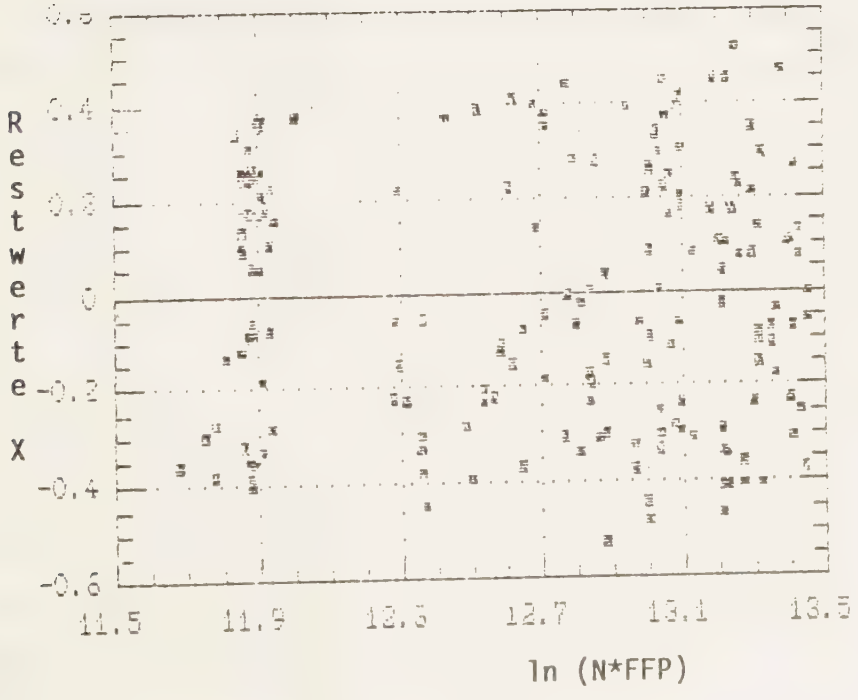


Die Restwerte der über (21) berechneten Produktivitätsindexwerte für die 182 Stichprobenbestände sind in der Abb. 40 dargestellt. Die positiven und negativen Abweichungen sind in etwa gleichverteilt. Diese Ergebnisse, zusammen mit dem MQF-Wert von 24,86 %, belegen, daß das Modell (22) keine systematischen oder zufälligen Fehler hat.

Tab. 30: Vergleich zwischen Meß- und Schätzwerten bei den Validierungsbeständen für den Produktivitätsindex

Bestand	Meßwerte t/ha a	Schätzwerte t/ha a	Restwerte t/ha a
1	11.04	14,28	3,24
2	9,42	12,66	3,24
3	11,12	14,76	3,64
4	9,37	11,57	2,20
5	12,39	9,23	-3,16
6	9,90	11,88	1,98
7	8,87	11,59	2,72
8	18,40	15,00	-3,40
9	12,02	13,33	1,31
10	6,92	6,79	-0,13
11	9,86	12,69	2,83
12	11,37	14,38	3,01
13	10,33	13,39	3,06
14	8,55	10,77	2,22
15	8,17	6,89	-1,28
16	7,34	6,69	-0,65
17	16,45	12,89	-3,56

Abb. 40: Restwerteverteilung der über (21) berechneten Produktivitätsindexwerte



Restwerte (angegeben als Exponent X zur Basis e; Restwerte e^X in t/ha a)

4.2.3 Kartierung der potentiellen Produktivität

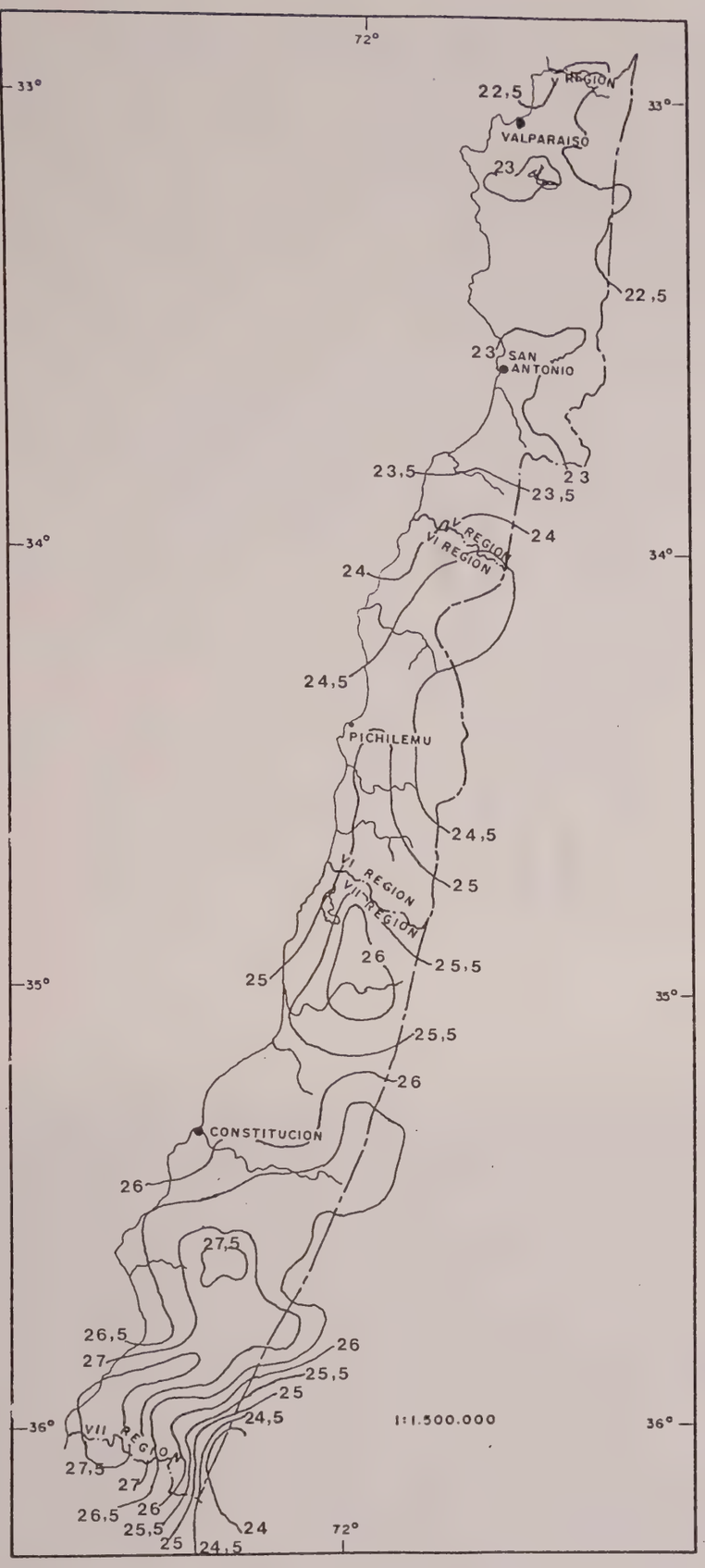
Für jeden klimatologischen Gitterpunkt im Untersuchungsgebiet (siehe 3.1.4.1.) wurden der potentielle Standortsindex (SI) und die potentielle jährliche Produktivität (PI) von Pinus radiata Beständen nach den hier aufgestellten Modellgleichungen sowie die potentielle Produktivität für eine natürliche Pflanzenbedeckung (Lieth-Modell) berechnet. Diese Produktivitätswerte sind in den Abb. 41 bis 43 im Maßtab 1:1.500.000 im Form von Isolinien dargestellt. Die ursprünglichen Karten, von denen jeweils eine Kopie am Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München deponiert ist, wurden im Maßtab 1:500.000 angefertigt.

4.2.3.1. Standortsindex

Die Abb. 41 enhält den Verlauf des potentiellen Standortsindex SI von 20-jährigen Pinus radiata Plantagen im Untersuchungsgebiet im Form von Isolinien. Daraus folgt, daß im Untersuchungsgebiet die V. Region (Valparaíso) die Zone mit den niedrigsten potentiellen Standortsindexwerten ist. Aufgrund von hauptsächlich kleinen Niederschlagssummen erreicht SI in dieser Zone Werte zwischen 22,5 m und 23 m. Dagegen hat die größere Niederschlagsmenge im Südteil (siehe Abb. 10 und Anhang II) des Untersuchungsgebietes (Nordwesten von Valdivia-Stadt ca. 39°41' s.B. ; 73°19' w.L.) potentielle Standortsindexwerte bis zu 30 m zur Folge.

Im allgemeinen steigen die potentiellen Standortsindexwerte von Norden nach Süden an. Diese Verteilung entspricht auch der Verteilung des Winterniederschlags im Untersuchungsgebiet.

Das Relief hat auch einen großen Einfluß auf SI über der Verlauf der Höhenlinien. Unabhängig von der geographischen Breite treten die maximalen Werte des potentiellen Standortsindex fast immer in der Höhe der Berggipfel der Küstenkordillere auf, wie z.B. in Peñuelas (V. Region 33°08' s.B. ; 71°32' w.L.), Gualleco (VII. Region 35°11' s.B. ; 71°59' w.L.), Empedrado (VII. Region 35°37' s.B. ; 72°15' w.L.), Curanipe - Quirihue (VII. und VIII.



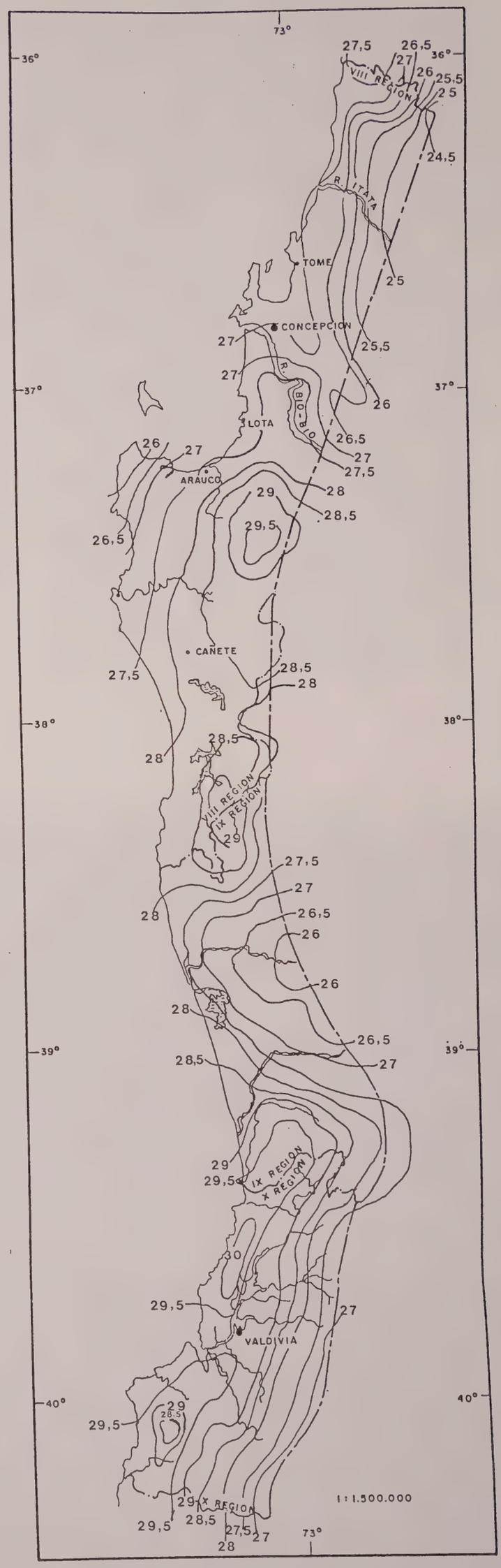


Abb. 41: Potentieller Standortsindex (in m) von 20-jährigen Pinus radiata Plantagen im Untersuchungsgebiet; dargestellt in Form von Isolinien

Region 36°00' s.B. ; 72°32' w.L.), Cordillera de Nahuelbuta (VIII. und IX. Region 38°40' s.B. ; 73°10' w.L) und Curiñanco (X. Region 39°41' s.B. ; 73°19' w.B) mit entsprechenden potentiellen Standortsindexwerte von 23, 26, 27,5 27,5, 29,5, und 30 m. Nur an der südlichen Grenze des Untersuchungsgebietes weisen die Berggipfel wegen der Abnahme der frostfreien Periode (siehe Anhang II) niedrigere SI-Werte als die anderen topografische Strukturen in dieser sogenannten Cordillera Pelada-Zone (X. Region 40°08' s.B. ; 73°25' w.L.) auf

Im allgemeinen nimmt der potentielle Standortsindex auf der Leeseite der Küstenkordillere niedrigere Werte an als in vergleichbaren Höhen auf ihrer westlichen Seite. Diese Erscheinung ist besonders in Zonen ausgeprägt, in denen die Küstenkordillere große Höhen erreicht. Der Grund dafür liegt in der niedrigen jährlichen Niederschlagssumme und der kurzen jährlichen frostfreien Periode, die die Leeseiten gegenüber den im Luv liegenden Westseiten kennzeichnen (siehe Abb. 10 und Anhang II).

Die Küstenkordillere ist zwischen 38°37' und 39°10' s.B. durch das Tal des Rio Imperíal unterbrochen. Deshalb treten dort in der Puerto Saavedra Zone niedrigere potentielle Standortsindexwerte (zwischen 26 und 28 m) als in den umgebenden Zonen (zwischen 28 und 30 m) auf.

Aus der Abb. 41 kann man auch erkennen, daß die potentiellen Standortsindexwerte folgende Schwankungen in den einzelnen Regionen der Untersuchunggebiete aufweisen: zwischen 22,5 und 24 m in der V. Region, zwischen 24 und 25 m in der VI. Region, zwischen 24 und 27,5 m in der VII. Region, zwischen 24,5 und 29,5 m in der VIII. Region, zwischen 26 und 29,5 m in der IX. Region und zwischen 27 und 30 m in der X. Region.

4.2.3.2. Produktivitätsindex

In der Abb. 42 ist der Verlauf des potentiellen Produktivitätsindex (= jährliche potentielle Produktivität) von 12-jährigen Pinus radiata Beständen im Untersuchungsgebiet in Form von Isolinien dargestellt.

Hauptsächlich wegen der großen Amplitude der Niederschlagswerte im Untersuchungsgebiet (siehe Abb. 10 und Anhang II) zeigt die jährliche potentielle Produktivität von Pinus radiata Plantagen eine räumliche Schwankung um ca. 250 %. So kann man aus der Abb. 42 erkennen, daß die jährliche Produktion der Pinus radiata Plantagen an Trockensubstanz einen Anstieg von Norden nach Süden hat, d.h. von 6,5 t/ha a an der nördlichen Grenze des Untersuchungsgebietes bis 16,5 t /ha a in der Valdivia Provinz (40° s.B.).

Fast die ganzen Provinzen von Valparaiso und San Antonio (V. Region) weisen potentielle Produktivitätsindexwerte zwischen 6,5 und 7,5 t/ha a auf. In der Cardenal Caro Provinz (VI. Region) schwankt der potentielle Produktivitätsindex zwischen 8 und 9,5 t/ha a. In der VII. Region steigt die Produktivitätsindex von 9 t /ha a an der Küste der Curicó Provinz bis auf 12,5 t/ha a in der Cauquenes Provinz an. In der VIII. Region liegen die niedrigsten Produktivitätswerte von 9,5 t/ha a auf der Leeseite der Küstenkordillere in der Ñuble Provinz; die größten Werte von 15,5 t/ha a treten dagegen im Bereich der höchsten Gipfel der Cordillera de Nahuelbuta auf. In der IX. Region schwankt die jährliche potentielle Produktivität von 10,5 t/ha a im breiten Tal des Imperial Flusses (38°40' s.B.) bis 15,5 t/ha a im Küstengebiet an der Grenze zur südlichen X. Region. In dieser letzten Region sind Corral (39°52' s.B) und die Bergkette, die sich nordwestlich von Valdivia (39°41' s.B.) erstreckt, die Zonen mit höchster potentieller Produktivitätsrate (mit Werten von 16,5 t/ha a); dagegen liegen die niedrigsten Werte mit 12 t/ha a auf der Leeseite der Küstenkordillere.

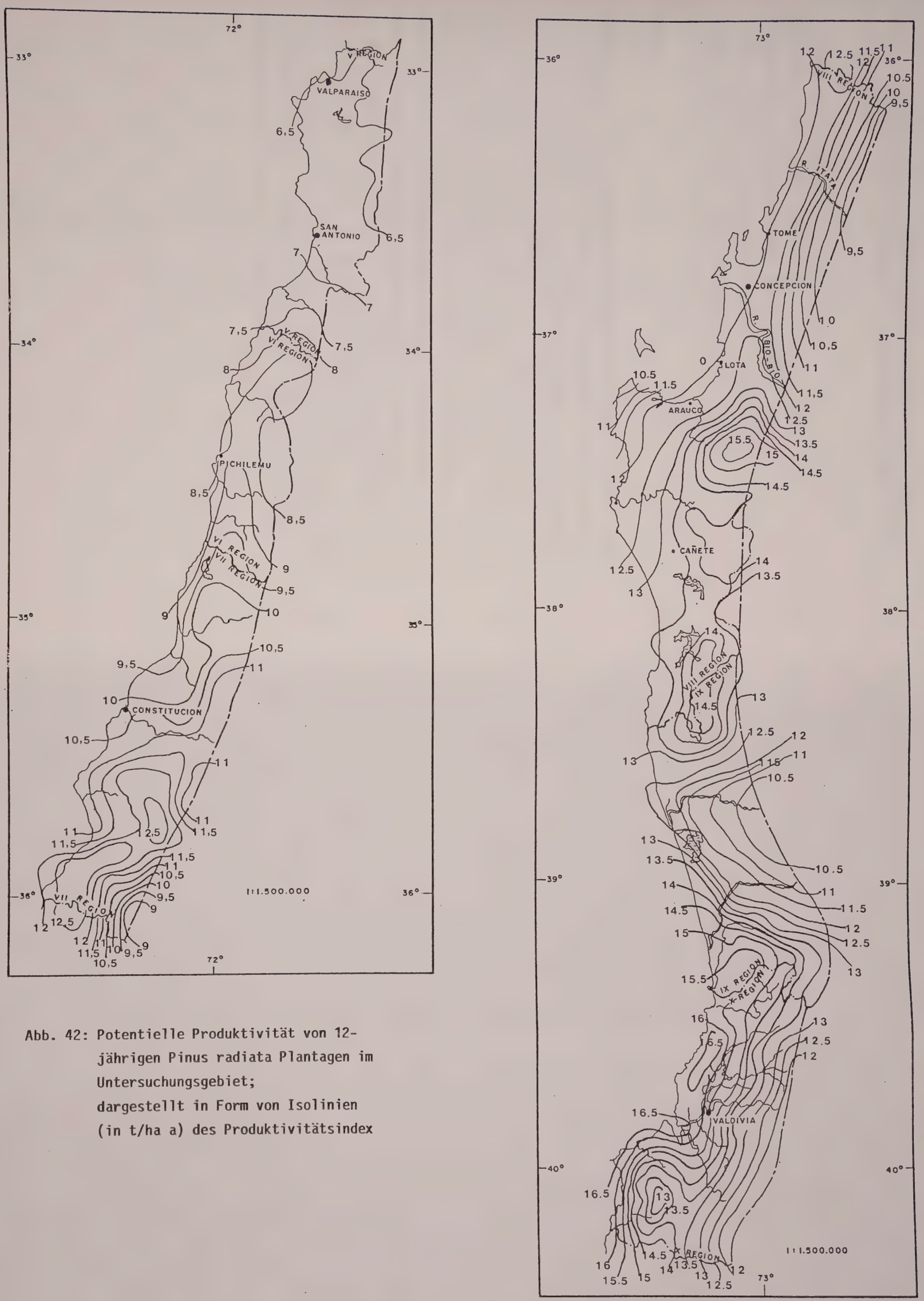


Abb. 42: Potentielle Produktivität von 12-jährigen Pinus radiata Plantagen im Untersuchungsgebiet; dargestellt in Form von Isolinien (in t/ha a) des Produktivitätsindex

Aus der Abb. 42 ist auch ersichtlich, daß die potentielle jährliche Produktivität von Pinus radiata Plantagen in den wichtigsten forstwirtschaftlichen Zonen von:

- Peñuelas (33°08' s.B.) ca. 6,5 t/ha a,
- Pichilemu (34°23' s.B.) ca. 9 t/ha a,
- Constitución (35°18' s.B.) ca. 11 t/h a,
- Arauco (37°14' s.B.) ca. 12,5 t/ha a,
- Lago Lleu-Leu (38°07' s.B.) ca. 14 t/ha a,
- Valdivia (39°48' s.B.) ca. 15,5 t/ha a

erreicht.

Vergleicht man die potentiellen Produktivitätsindexwerte mit den potentiellen Standortsindexwerten (Abb. 41), so wird deutlich, daß die Isolinien in den Abb. 41 und 42 in etwa ähnlich verlaufen. Die Produktivitätsindexisolinien (Abb. 42) zeigen dabei einen stärkeren Einfluß des Reliefs (je höher eine Zone liegt, desto größer ist die jährliche Niederschlagssumme, und desto niedriger ist die Anzahl der frostfreien Tage) als die Standortsindexisolinien. Die großen jährlichen Niederschlagssummen auf den Gipfeln der Küstenkordillere haben hohe jährliche potentielle Produktivitätswerte zur Folge. Im Süden des Untersuchungsgebietes spielt die Anzahl der frostfreien Tage (= frostfreie Periode) eine wichtige Rolle; hier haben die höheren Lagen der Cordillera Pelada (40°08' s.B. ; 73°25' w.L.) niedrigere potentielle Produktivitätswerte (13 t/ha a) als die Berghänge (zwischen 13,5 und 15,0 t/ha a). Wegen der Abnahme der Höhe der Küstenkordillere im breiten Tal des Imperial Flusses und der damit zusammenhängenden, geringeren jährlichen Niederschlagssumme treten in dieser Zone (38°40' s.B.) nur potentielle Produktivitätswerte zwischen 10,5 und 12,5 t/ha a auf.

4.2.3.3. Potentielle jährliche Produktivität der natürlichen Pflanzenbedeckung

Ein Modell zur Abschätzung der potentiellen Primärproduktivität von Pflanzen, das sogenannte "Miami Modell", wurde durch LIETH (1974) erarbeitet. Damit wird die Abhängigkeit der Primärproduktion der natürlichen Pflanzenbedeckung von klimatologischen Bedingungen, nämlich der Lufttemperatur und der Niederschlagssumme, dargestellt.

Das Modell lautet:

$$TSPt = 3000/(1 + e^{1,315 - 0,119*T}) \qquad (23)$$

$$TSPn = 3000/(1 - e^{-0,000664*N}) \qquad (24)$$

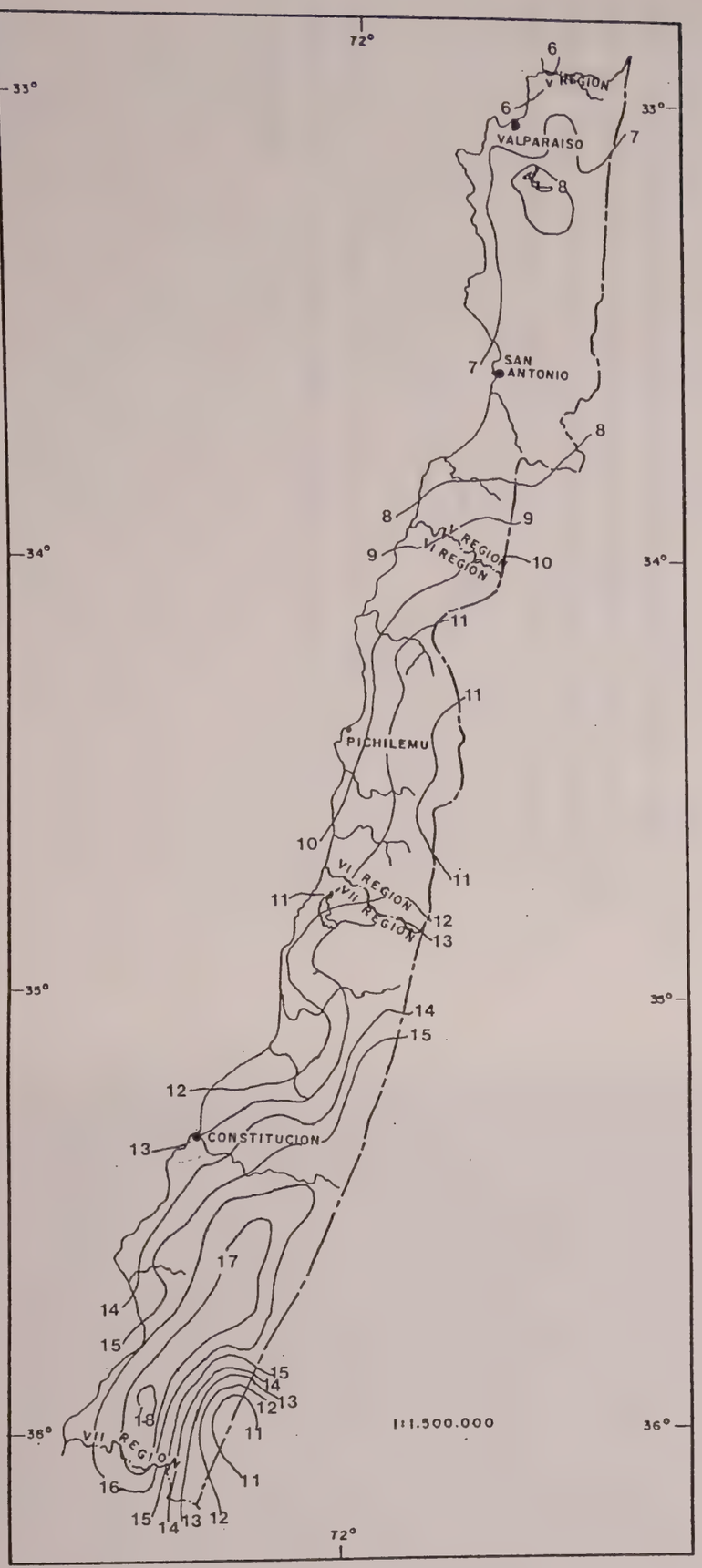
mit TSPt = jährliche Trockensubstanzproduktion (in g/m^2 a) in Abhängigkeit von der mittleren jährlichen Lufttemperatur

TSPn = jährliche Trockensubstanzproduktion (in g/m^2 a) in Abhängigkeit von der jährlichen Niederschlagssumme

T = mittlere jährliche Lufttemperatur in °C

N = Jahresniederschlagssumme in mm

Bei der üblichen Benutzung des "Miami Modells" wird der kleinere der beiden für einen bestimmten Ort berechneten Werte TSPt und TSPn als der richtige Schätzwert für die Primärproduktion betrachtet. Wegen der Homogenität der Lufttemperatur im Untersuchungsgebiet wurde hier nur die Gleichung (24) mit der Niederschlagssumme angewendet, um die Produktion an Trockensubtanz der natürlichen Pflanzen zu ermitten. Diese Produktion wurde für jeden Gitterpunkt der klimatologischen Datenbank (siehe Abschnitt 3.1.4.1.) berechnet und ist in Abb. 43 in Form von Isolinien (t/ha a) dargestellt.



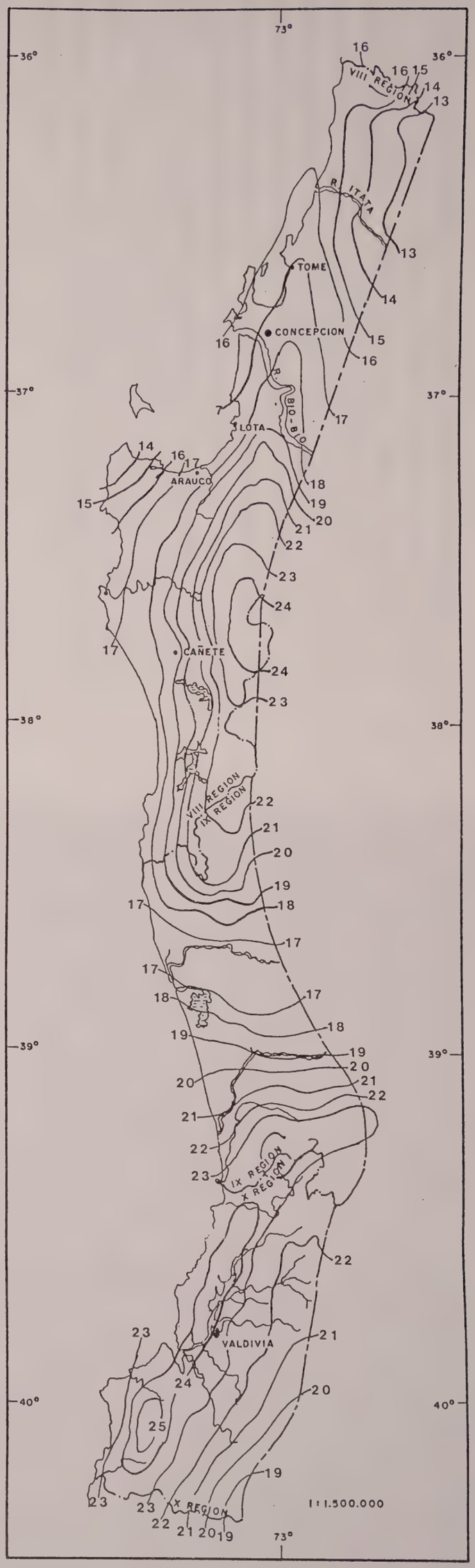


Abb. 43: Potentielle Produktivität der natürlichen Pflanzenbedeckung im Untersuchungsgebiet, berechnet durch das "Miami-Modell" (LIETH, 1974) und dargestellt in Form von Isolinien (in t/ha a)

Daraus kann man erkennen, daß im Untersuchungsgebiet der semiaride nördliche Teil der Valparaíso Provinz mit Werten zwischen 6 und 7 t/ha a die Zone mit der niedrigsten Primärproduktion ist. Dagegen haben aufgrund der großen Niederschlagsmenge die feuchten Zonen von Nahuelbuta und die Gegend westlich und südlich von Valdivia die höchsten Produktivitätswerte zwischen 24 und 25 t/ha a, d.h eine prozentuale Schwankung um ca. 400 % ist vorhanden. Die Primärproduktionswerte steigen von Norden nach Süden und mit zunehmender Höhe der Küstenkordillere an. Die Leeseite der Kordillere weist niedrigere Produktivitätswerte als die Westseite auf. Diese Verteilung entspricht auch der Verteilung der jährlichen Niederschlagssumme im Untersuchungsgebiet. Die Produktivitätswerte schwanken zwischen 6 und 10 t/ha a in der V. Region, zwischen 9 und 13 t/ha a in der VI. Region, zwischen 11 und 18 in der VII. Region, zwischen 13 und 24 t/ha a in der VIII. Region, zwischen 17 und 24 t/ha a in der IX. Region sowie zwischen 19 und 25 t/ha a in der X. Region.

Ein Vergleich zwischen den berechneten Werten der potentiellen Primärproduktion nach dem LIETH-Modell und den hier ermittelten potentiellen Produktivitätswerten von Pinus radiata Plantagen zeigt nur an der nördlichen Grenze des Untersuchungsgebietes ähnliche Werte (6,5 t/ha a nach dem Pinus radiata Modell und 6,0 t/ha a nach dem LIETH-Modell). Im allgemeinen liegt die potentielle Produktivität für die Pinus radiata Plantagen immer unter den Werten für die potentielle Primärproduktion. Südlich von 34° s.B. ergeben beide Berechnungen deutliche Unterschiede in den Produktivitätswerten, die in Richtung Süden noch ansteigen. Schon in der geographischen Breite von Constitución (35°18' s.B.) beträgt der Unterschied ca. 3 t/ha a; in Arauco (37°14' s.B.) ca. 5 t/ha a und in Valdivia (39°48' s.B.) ca. 8,5 t/ha a. Die größten Unterschiede treten in den Höhen der Küstenkordillere auf. Der Grund dafür liegt in der dort relativ geringen Anzahl von frostfreien Tagen, und diese "frostfreie Periode" wird nicht im LIETH-Modell, sondern nur im hier entwickelten Produktivitätsmodell für Pinus radiata berücksichtigt.

4.3. DISKUSSION DER MODELLE

Die beiden entwickelten Modelle (siehe Abschnitt 4.2.1. und 4.2.2.) zur Bestimmung der potentiellen Produktivität von Pinus radiata Plantagen in Chile in Abhängigkeit von klimatologischen Parametern weisen ähnliche Parameter als unabhängige Variable auf. Im ersten Modell wird der potentielle Standortsindex als Funktion der Winterniederschlagsumme (Nw) und der jährlichen frostfreien Periode (FFP) berechnet. Im zweiten Modell wird der potentielle Produktivitätsindex in Abhängigkeit von der jährlichen Niederschlagssumme (N) und der jährlichen frostfreien Periode ermittelt. In Zonen mit mediterranem Klima oder mit einer deutlichen Niederschlagskonzentration auf die Wintermonate, wie im Untersuchungsgebiet, zeigen N und Nw eine hohe Autokorrelation. Der Tab. 26 ist zu entnehmen, daß der Korrelationskoefizient zwischen diesen beiden Parametern einen positiven Wert von 0,95 erreicht.

In beiden Modellen gelten N und Nw als primäre Variable. Es wurde geprüft, Modelle nur mit diesen Parametern als unabhängige Variable zu entwickeln. Die Ergebnisse haben gezeigt, daß die beste Modellgleichungen hierzu die Form von Potenzfunktionen hatten. Die Bestimmtheitsmaße dieser Modellgleichungen unterschieden sich kaum von jenen für die im Abschnitt 4.2. erläuteten Modelle; allerdings wiesen sie aber höhere Standardfehler auf.

Die Länge der frostfreien Periode stellt in beiden Modellen die zweite unabhängige Variable dar, die einen größeren Einfluß auf die Produktivität der Pinus radiata Plantagen hat. Sie ist insbesondere im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes und in der Küstenkordillerre in Lagen über 800 m NN von Bedeutung, die sich in der VIII. und der X. Region befinden. Die Länge der frostfreien Periode hat in gewisser Weise eine Summenwirkung von anderen klimatologischen Parametern wie der Lufttemperatur und der Globalstrahlung, also von Variablen, die eine etwas untergeordnete Rolle für die Produktivität besonders im Winter spielen. In der Tab. 26 (Abschnitt 4.2.1.) sind die Korrelationskoeffizienten zwischen der Anzahl der frostfreien Tage (= FFP) und anderen klimatologischen Parametern zusammengestellt. Dabei zeigt sich ein hoher positiver Korrelationskoeffizient von 0,81 zwischen FFP und der mittleren minimalen Lufttemperatur im Juli (kältester Monat). Noch größer ist der Korrelationskoeffizient (0,83) zwischen FFP und der mittleren täglichen Globalstrahlungssumme im gleichen Monat. Mit der jähr-

lichen Kältesstundensumme hat FFP eine negative Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,84.

Auffallend ist bei der Anzahl der frostfreien Tage der Unterschied von nur 30 Tagen zwischen zwei Orten in vergleichbarer topographischer Lage an der nördlichen und der südliche Grenze des Untersuchungsgebietes. Die Ursache dafür liegt im ozeanischen Einfluß auf das Untersuchungsgebiet. Dieser Differenz ist eine relativ niedrige Signifikanz für die Bestimmung der potentiellen Produktivität zuzuordnen, wenn man sie mit der analogen Variabilität der jährlichen Niederschlagssumme (ca. 2000 mm) vergleicht. Das bedeutet, daß die räumliche Variabilität der jährlichen Niederschlagssumme der wichtigste Grund für die räumliche Variabilität der potentiellen Produktivität zwischen vergleichbaren Orten in unterschiedlicher geographischer Breite ist. Dagegen steigt die Bedeutung der Anzahl der frostfreien Tage bei der Bestimmung der potentiellen Produktivität für Orte in gleicher geographischer Breite, weil dadurch ein Indikator für den Kontinentalitätsgrad eines Ortes gegeben ist.

Wenn man das im Abschnitt 4.2.1. beschriebene Modell mit anderen Modellen zur Bestimmung des Standortsindex für Pinus radiata Plantagen vergleicht, erkennt man, daß auch bei den Modellen von HUNTER und GIBSON (1984) für Neuseeland, SCHLATTER et al. (1982) für Chile und BOOTH (zitiert bei HUNTER und GIBSON, 1984) für Australien die jährliche Niederschlagssumme der wichtigte Parameter ist, der die Produktivität beeinflußt. Das von HUNTER und GIBSON entwickelte Modell liefert für den Standortsindex keine Reduzierung in Zonen mit äußerst großen jährlichen Niederschlagssummen, was eigentlich zu erwarten wäre. SCHLATTER et al. geben für den Standortsindex von Pinus radiata in Chile ein scheinbares Maximum bei jährlichen Niederschlagssummen von 2.000 mm an. Die mit Niederschlagssummen von über 2.000 mm verbundene Reduzierung des Standortsindex wird von ihnen auf eine dann beeinträchtigte Infiltration des Niederschlagswassers in den Boden zurückgeführt.

Die monatlichen maximalen und minimalen Lufttemperaturen stellen im Modell für Neuseeland die wesentlichen klimatologischen Komponenten dar. Im Modell für Australien ist die Wirkung der Lufttemperatur indirekt über den Parameter Höhe ü. NN enthalten, während bei SCHLATTER et al. (1982)

über die Angabe der geographischen Breite der Lufttemperatureffekt auf die Produktivität berücksichtigt wird.

Eine zusammenfassende Analyse der hier erstellten Karten für den potentiellen Standortsindex (Abb. 41) und den potentiellen Produktivitätsindex (Abb. 42) für Pinus radiata Plantagen in Chile im Zusammenhang mit den Karten für verschiedene klimatologische Parameter, die im Abschnitt 2.2.4. dargestellt sind, zeigt, daß die Orte mit der größten potentiellen Produktivität in Zonen mit großen mittleren jährlichen Niederschlagssummen (Abb. 10) sowie mit niedrigen Werten der mittleren Jahressumme der Globalstrahlung (Abb. 8), der mittleren jährlichen Lufttemperatur (Abb. 9) und der mittleren jährlichen potentiellen Verdunstungshöhe (Abb. 11) liegen.

Tab. 31: Mittelwerte von realer Produktivität (in t/ha a), Blattoberflächenindex BFI (zwei Seiten) und klimatologischen Parametern von vier 15 Jahre alten Pinus radiata Probebeständen in Chile (1500 Bäume/ha);
die Probebestände sind numeriert: 1 = Peñuelas (33°08' s.B. - 71°15' w.L.); 2 = San Jóse de Quenehuao (35°37' s.B. - 72°07' w.L.); 3 = Rari (37°37' s.B. - 71°20' w.B.); 4 = Mayllay (39°32' s.B. - 72°59' w.B);
N = mittlere jährliche Niederschlagssumme in mm, Hd = mittleres jährliches hygrisches Defizit in mm, LTP = mittlere Länge der jährlichen Trockenperiode in Monaten, FFP = mittlere jährliche Länge der frostfreien Periode in Tagen, JKS = mittlere jährliche Summe der Tagesmittelwerte der Lufttemperatur > 10 °C in Gradtagen, GJi = mittlere tägliche Globalstrahlungsumme im Juli in W/m²

Probe-bestand	Produk-tivität	BFI	N	HD	LTP	FFP	JKS	GJi
1	14,0	7,1	450	770	8,0	334	1490	199
2	15,5	7,6	925	735	7,0	310	1550	114
3	29,0	9,6	1200	645	6,0	328	1375	108
4	29,5	11,2	2320	220	0,5	270	800	100

Die Tab. 31 enthält Mittelwerte von jährlicher realer Produktivität (in t/ha a), Blattoberflächenindex (= BFI) und klimatologischen Parametern von vier verschiedenen, 15 Jahre alten Pinus radiata Probebeständen, die sich von der trockenen Zone bis zur feuchten Zone des Untersuchungsgebietes ertrecken.

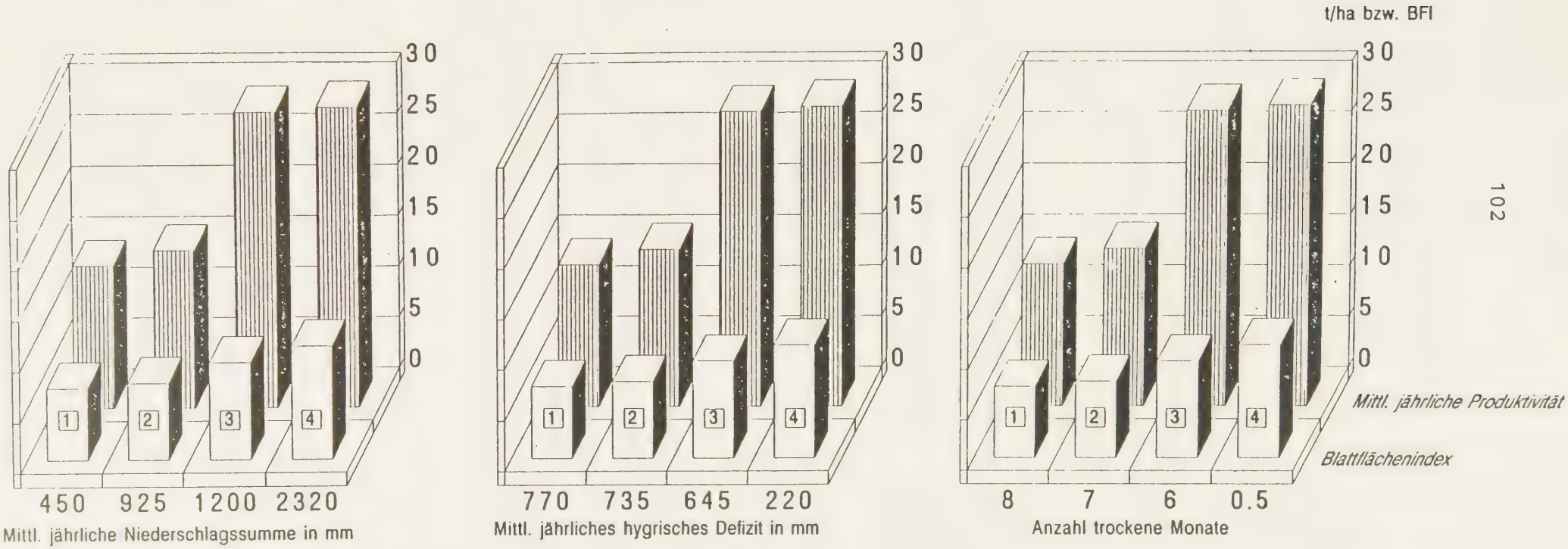
Die Produktivitätswerte und die BFI-Werte wurden nur für die herrschenden und mitherrschenden Bäume in den Beständen berechnet. Die BFI-Werte wurden unter Benutzung der Schätzfunktion für die Bestimmung der Nadeloberfläche, die im Abschnitt 4.1.3. erläutert ist, berechnet. Die Probebestände 2 und 3 befinden sich in der gleichen geographischen Breite, sie unterscheiden sich aber in der geographische Länge. Der Bestand Nummer 2 befindet sich an der Leeseite der Küstenkordillere mit niedrigen Niederschlagswerten und größeren Lufttemperatur- und Luftfeuchtigkeitschwankungen als beim Bestand Nummer 3, der an der westlichen Seite der Küstenkordillere liegt.

Aus der Tab. 31 ist abzuleiten, daß im südlichen Probebestand Nummer 4 (Provinz Valdivia) die höchsten mittleren jährlichen Produktivitätswerte (29,5 t/ha a) und die höchsten mittleren BFI-Werte (11,2) erreicht werden. Mit Abnahme der geographischen Breite, d.h. mit einer Steigerung der klimatischen Trockenheit, reduzieren sich diese Parameter bis auf minimale Werte von 14,0 t/ha a für die Produktivität und 7,1 für BFI beim Bestand Nummer 1 (Provinz Valparaiso).

Die Beziehungen zwischen der mittleren jährlichen Produktivität und den BFI-Werten von diesen 4 Probebeständen sowie der Aridität sind in der Abb. 44 gezeigt. Daraus läßt sich erkennen, daß BFI linear mit Ansteigen der mittleren jährlichen Niederschlagssumme zunimmt und linear mit Anwachsen des mittleren jährlichen hygrischen Defizits sowie größer werdender Anzahl von trockenen Monaten abnimmt. Diese zwei letzten Parameter integrieren alle klimatologischen Bedingungen für die Bestände, weil bei ihrer Berechnung die Evapotranspiration berücksichtigt ist.

Aus der Abb. 44 ist auch zu entnehmen, daß bei Orten mit mittleren jährlichen Niederschlagshöhen ≥ 1.200 mm, einem hygrischen Defizit ≤ 650 mm und mit einer Anzahl von weniger als 7 trockenen Monaten keine hygrische Begrenzung für die Entwicklung von Pinus radiata Plantagen besteht. Die Verminderung der BFI-Werte und der Produktivität der Bestände bei steigender Aridität könnte durch die Beziehungen zwischen BFI und der Transpira-

Abb. 44: Mittlere reale Produktivität (in t/ha a), Blattoberflächenindex, mittlere jährliche Niederschlagssumme, mittleres jährliches hygrisches Defizit und mittlere jährliche Länge der Trockenperiode von vier Probebeständen in 15 Jahre alten Pinus radiata Plantagen im Untersuchungsgebiet (1500 Bäume/ha); die Bestände sind numeriert: 1 = Penuelas, 2 = San Jóse de Quenehuao, 3 = Rari und 4 = Mayllay; die geographischen Koordinaten sind in der Tab. 31 enthalten



tionsrate der Bäume erklärt werden. Wenn BFI groß ist, hat der Baum eine größere Transpiration. In trockenen Zonen, wie im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes, führt das zu einem starken Wasserstreß für die Bäume mit einer folgenden Reduzierung des stomatären Gaswechsels. Dadurch wird die Photosyntese begrenzt, und die Produktion von Trockensubstanz nimmt ab.

Wenn das hygrische Defizit zu groß wird, ergibt sich eine Reduzierung des BFI. NAMBIAR et al. (1984) berichten, daß die Evapotranspiration einer 30 Jahre alten Pinus radiata Plantage in Süd-Australien tägliche Schwankungen zwischen 1 mm im Winter und 4 mm im Sommer aufweist, und daß ferner Pinus radiata im Zuwachsverhalten keine jahreszeitliche Ruhephase hat. Der Produktivitätszuwachs sowie die BFI-Steigerung hängen nur stark von der Wasserversorgung der Bäume ab. Dieses Ergebniss wird auch durch andere Untersuchungen (CROMER et al., 1982; ATTIWILL und CROMER, 1982) bestätigt.

Die in den Abschnitten 4.2.1. und 4.2.2. entwickelten Modelle beinhalten den Einfluß von klimatologischen Umweltbedingungen auf die potentielle Produktivität von Pinus radiata Plantagen im Untersuchungsgebiet. Es ist wichtig zu betonen, daß die Produktivitätsmessungen in Beständen ohne waldbauliche Eingriffe und auf Böden der ersten Bönitat durchgeführt wurden. Das bedeutet, daß für einen bestimmten geographischen Ort die Werte aus den hier entwickelten Modellen bzw. Karten nur einen Referenzcharakter haben. Die Benutzung der Modelle für die Bestimmung der potentiellen Produktivität von Pinus radiata Plantagen in anderen Zonen außerhalb des Untersuchungsgebietes, wie z.B. in Arenales (Zentral-Tal; 37°04' s.B.) und im Andenvorland von den Provinz Cúrico (35° s.B.) bis zur Llanquihue Provinz (41°30' s.B.), wird nur nach vorhergehenden Überprüfungen empfohlen.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die herkömmlichen forstlichen Forschungen in Chile, die in Verbindung mit der Produktivität von Pinus radiata Plantagen durchgeführt worden sind, beschäftigten sich hauptsächlich mit der Holzproduktion in Abhängigkeit von bestimmten waldbaulichen Maßnahmen. Es fehlten aber bisher umfangreichere Untersuchungen über den Einfluß von Umweltbedingungen auf komplexe ökophysiologische Prozesse, wie z.B. Photosynthese, Respiration, Kronendynamik oder Wasser- und Nährstoffkreislauf, die an der Produktivität eines Baumes oder eines Bestandes maßgeblich beteiligt sind.

Obwohl die vorliegende Arbeit keinen dieser Prozesse näher analysierte, lieferte sie dennoch Ergebnisse, die für die Aufstellung von Hypothesen zur umweltabhängigen Steuerung dieser Prozesse und für die Planung von zukünftigen Forschungen verwendet werden können. In diesem Zusammenhang ist es dringend erforderlich, Forschungen zu ökophysikalischen Produktivitäts-Modellen für Pinus radiata Bestände in Chile zu beginnen, um die Beziehungen zwischen biologischen Prozessen bei diesen Bäumen, Umweltfaktoren und der Kronenarchitektur dieser Bestände zu untersuchen.

Wegen der besonderen Standortsbedingungen für Pinus radiata Plantagen in Chile sollte ein ökophysikalisches Produktivitäts-Modell haupsächlich zwei Problemekreise berücksichtigen:

- Einfluß von Wasser- und Nährstoffhaushalt des Bodens auf den Biomassezuwachs, einschließlich des Effekts von hygrischem Streß auf die Biomasseverteilung (Wurzel und oberirdische Baumorgane);

- Einfluß von waldbaulichen Maßnahmen (z.B. Düngung, Durchforstung, Ästung u.a.) auf die Kronenstruktur der Bäume und den Biomassezuwachs, einschließlich der Bestimmung von optimalen Blattflächenindex-Werten.

Nur mit vollständigen Erkenntnissen über die umweltabhängige Produktivität von Pinus radiata Plantagen in Chile und mit dem Verständnis der Mechanismen der Biomasseproduktion dieser Plantagen es ist möglich, zweckmäßige Abläufe im Forstbetrieb festzulegen sowie eine rationale und optimale Forstwirtschaft zu erreichen.

6. LITERATURVERZEICHNIS

ATTIWILL, P.; CROMER, R. (1982): Photosynthesis and Transpiration of Pinus radiata D. Don under Plantation Condition in Southern Australia. 1. Response to Irrigation with Waste Water. Australian Journal of Plant Physiology 9. 249-260.

ARNTZ, J.; DELMASTRO, R.; SCHLATTER, J. (1969): Influencia de un rodal de Pinus radiata D.Don sobre algunos factores ecológicos en comparación al campo abierto. Tesis, Facultad de Ingenieria Forestal, Universidad Austral de Chile. Valdivia. 197 S.

BAKER, T.; ATTIWILL, P.; STEWART, H. (1984): Biomass Equations for Pinus radiata in Gippsland, Victoria. N.Z.J. of Forestry Science 14(1). 89-96.

BASKERVILLE, G. (1972): Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. Canadian Journal of Forestry 2(49). 49-53.

BEADLE, C.; TURNBULL, C. (1986): Leaf and Branch Development in two Constrating Species of Eucalyptus in Relation to Early Growth and Biomass Production. In Proceedings of the Workshop "Crown and Canopy Structure in Relation to Productivity". Forestry and Forest Products Research Institute. Ibaraki, Japan. 263-283.

BEAUCHAMP, J.; OLSON, J. (1973): Corrections for Bias in Regression Estimates after Logarithmic Transformation. Ecology. 54(6). 1403-1407.

BOOTH, T.; SAUNDERS J. (1980): Land Evaluation for Forestry. In Plantation Forestry, What Future ? ed. F.J.W. New Zeealand Institut of Foresters, :Rotorua. 116-123

BUES, C. (1984): Radiodensometrische Untersuchung der Variation von Jahrringbreite und Holzdichte in südafrikanischen Pinus radiata-Beständen unter dem Einfluß des Klimas und verschiedener Durchforstungsmaßnahmen. Forstl. Forschungsber. München No 59, 162 S.

CASTRI, F. di; HAJEK, E. (1976): Bioclimatología de Chile. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 172 S.

COX, F. (1982): Indices de Productividad en la Evaluación de la Calidad de Sitio. In. Actas Reunión de Trabajo "Evaluación de la Productividad de Sitios Forestales". Valdivia, Chile. 7-21.

CRITCHFIELD, W.; LITTLE, E. (1971): Geographic Distribution of the Pines of the World. USDA. Forest Service, Miscellaneous Publication 991. S. 19 u. 92

CROMER, R. et al. (1983): Irrigation of Pinus radiata with Waste Water: Tree Growth Response to Treatment. Australian Forestry Research 13.

DAVIS, K. (1966): Forest Management. McGraw-Hill Book Co. New York.

DONODO, C. (1981): Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente. Universidad Austral de Chile. Editorial Universitaria S.A., Santiago, Chile. 369 S.

von DROSTE zu HÜLSHOFF, B. (1969): Struktur und Biomasse eines Fichtenbestandes auf Grund einer Dimensionsanalyse an oberirdischen Baumorganen. Dissertation Univ. München. 209 S.

EK, A. (1979): A model for Estimating Branch Weight and Branch Leaf Weight in Biomass Studies. Forest Science 25(2). 303-306.

FAO. (1979): Estimación del Volumen Forestal y Predicción del Rendimiento. Vol. 2, Apéndice A: Técnicas estadísticas y matemáticas para estudios de rendimientos. 61 S.

FLEWELLING, J.; PIENAAR, L. (1981): Multiplicative Regression with Lognormal Errors. Forest Science 27(2). 281-289.

FORDE, M. (1966): Pinus radiata in California. New Zealand Journal of Forestry. 11, 20-42.

FREDERICK, D.; MADGWICK, H.; JURGENSEN, M.; OLIVER, G. (1985): Dry Matter, Energy, and Nutrient Contents of 8-Year-Old Stands of Eucalyptus regnans, Acacia dealbata, and Pinus radiata in New Zealand. N.Z.J.For.Sci. 15(2). 142-157.

FUENZALIDA; H. (1965): Clima. In Geografía Económica de Chile. Texto refundido. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago.

FUENZALIDA, H. (1971): Climatología de Chile. Publicación Interna. Depto. de Geofísica y Geodesia, Universidad de Chile. 72 S.

GANDULO, J. et al. (1974): Ecología de los Pinares Espanoles. IV Pinus radiata D.Don. Monografías INIA. No 13, Madrid, Spanien. 187 S.

GARCIA, O. (1970): Indices de Sitio para Pino insigne en Chile. Instituto Forestal, Serie de Investigación, Publicación No 2. Santiago.

GARCIA, J. (1982): Calidad de Sitio para Plantaciones de Pinus radiata D.Don en la Cordillera de la Costa de la Región del Maule. In Actas Reunión de Trabajo "Evaluación de la Productividad de Sitios Forestales". Valdivia, Chile. 27-50.

GARY, H. (1976): Crown Structure and Distribution of Biomass in a Lodgepole Pine Stand. USDA. Forest Service. Research Paper RM-165. Rocky Mountain Forest and Range Exp. Station. Fort Collins, USA. 20S.

GRIFFIN, J.; CRITCHFIELD, W. (1976): The Distribution of Forest Trees in California. USDA. Forest Service. Research Paper PSW-82. S. 29 u.88.

HUBER, A. (1975): Beitrag zur Klimatologie und Klimaökologie von Chile. Dissertation Univ. München. 87 S.

HUNTER, I.; GIBSON, A. (1984): Predicting Pinus radiata Site Index from Environmental Variables. N.Z.J. of Foretry Science. 14(1). 53-64.

HUSCH, B. (1963): Forest Mesuration and Statistics. The Ronald Press Co. New York.

INFOR-CORFO-CHILE. (1985): Funciones de Biomasa. Forschungsberichte. Proyecto: "Mantención de la productividad de sitio para Pinus radiata D.Don". División de Silvicultura. Instituto Forestal Chile. 64 S.

INFOR-CORFO-CHILE. (1986): Estadísticas Forestales. Boletín Estadístico No 1. Instituto Forestal Chile. 100 S.

INFOR-CORFO-CHILE. (1986): Indices de Productividad de Sitio para Pino insigne en la VIII Región y IX Región. Informe Final. Forschungsberichte. División Inventarios Forestales. Instituto Forestal Chile. 155 S.

INFOR-CORFO-CHILE. (1987): Analísis de Indices de Productividad de Sitio para Pino radiata en la V Región. Forschungsberichte. División Inventarios Forestales. Instituto Forestal Chile. 102 S.

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR-CHILE. (1988): Atlas Geo-gráfico de Chile. 2ª Edición. Santiago, Chile. 138 S.

JONES J. (1969): Review and Comparison of Site Evaluation Methods. USDA. Forest Service. Research Paper R-M-51.

KOSAK, A. (1970): Methods of Ensuring Additivity of Biomass Components by Regression Analysis. The Forestry Chronicle 46(5). 402-404.

van LAAR, A. (1973): Needle-Biomass, Growth and Growth Distribution of Pinus radiata in South Africa in Relation to Pruning and Thinning. Forstl. Forschungsb. München No 9, 282 S.

LIETH, H. (1975): Modeling the Primary Productivity of the World. In Primary Productivity of the Biosphere. Ecological Studies 12. Springer-Verlag, Berlin. 237-264.

MADGWICK, H. (1973): Biomass and Productivity Models of Forest Canopies. In Analysis of Temperate Forest Ecosystems. Springer Verlag, Berlin. 47-53.

MADGWICK, H. (1981): Estimating the Above-Ground Weight of Forest Plots Using the Basal Area Ratio Method. N.Z.J. of Forestry Science 11(3). 278-286.

MADGWICK, H. (1983): Estimation on the Oven-Dry Weight of Stems, Needles and Branches of Individual Pinus radiata Trees. N.Z.J. of Forestry Science 13(1). 108-109.

MADGWICK, H. (1985): Dry Matter and Nutrient Relationships in Stands of Pinus radiata. N.Z.J. of Forestry Science 15(3). 324-336

MADGWICK, H.; JACKSON, D. (1974): Estimating Crown Weights of Pinus radiata from Branch Variables. N.Z.J. For. Sci. 4 (3). 520-528

MADGWICK, H.; OLIVER, G. (1985): Dry Matter Content and Production of Close-Spaced Pinus radiata. N.Z.J. of Forestry Science 15(2). 135-141.

MADGWICK, H.; SATOO, T. (1975): On Estimating the Aboveground Weights of Tree Stands. Ecology 56. 1446-1450.

MATSUDA, M.; BAUMGARTNER, A. (1975): Ökosystematische Simulation des Nutzeffektes der Sonnenenergie für Wälder. Forstwissenschaftliches Centralblatt. 94, H. 2-3. 89-104.

MEAD, D.; DRAPER, D.; MADGWICK, H. (1984): Dry Matter Production of a Young Stand of Pinus radiata: some effects of nitrogen fertiliser and thinning. N.Z.J.For.Sci. 14(1). 97-108.

MITSCHERLICH, G. (1970): Wald, Wachstum und Umwelt. 1. Band. J.D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main. 142 S.

MITSCHERLICH, G. (1975): Wald, Wachstum und Umwelt. 3. Band. J.D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main. 352 S.

NAMBIAR, E. (1984): Manipulation of Water and Nutrients in Plantations of Fast Growing Species. In Proceedings "Symposium on Site and Productivity of Fast Growing Plantations". Pretoria, Südafrika. 489-506

NEWBOULD, P. (1967): Methods for Estimating the Primary Production of Forests. IBP. Handbook No 2. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 59 S.

PARDE, J. (1980): Forest Biomass. Forestry Abstracts 41. 343-62

PERALTA, M. (1971): Suelos de regiones naturales de conservación. Bol. Técn. No 24. Esc.Ing.For. Facultad de Agronomía, Universidad de Chile, Santiago.

PRETZSCH, H. (1985): Wachstumsmerkmale süddeutscher Kiefernbestände in den letzten 25 Jahren. Forstl. Forschungsb. München No 65, 173 S.

RIEDWYL, H. (1980): Regressionsgerade und Verwandtes. UTB 923. Stuttgart. 141 S.

SATOO, T. (1973): A Synthesis of Studies by the Harvest Method: Primary Production Relations in the Temperate Deciduous Forest of Japan. In Analysis of Temperate Forest Ecosystems. Springer Verlag, Berlin. 55-72.

SCHLATTER, J. (1974): Pinus radiata und ihre Anbaumöglichkeiten in Chile. Göttinger Bodenkundliche Berichte 31, 1-90.

SCHLATTER, J.; GERDING, V.; BONNEFOY, M. (1982): Factores de Sitio de Mayor Incidencia en la Productividad de Pinus radiata (D.Don). In Actas Reunión de Trabajo "Evaluación de la productividad de sitios forestales". Valdivia, Chile. 61-97.

SCOTT, C. (1961): Pino insigne. FAO., Rom. 340 S.

STEPHENS, G. (1968): Productivity of Red Pine, 1. Foliage Distribution in Tree Crown and Stand Canopy. Agricultural Meteorology 6. 275-282.

STUART, J. (1976): Monterey Pine: An Introduced Species in Chile. Publications in Climatology Vol. XXIX, No 1. C.W. Thornthwaite Associates. 112 S.

SUTTON; W. (1986): Pino radiata: sus excepcionales perspectivas en el comercio mundial de productos forestales. Fundación Chile. Publicación Técnica 17, 32 S.

WEBBER, B.; MADGWICK, H. (1983): Biomass and Nutrient Content of a 29-Year-Old Pinus radiata Stand. N.Z.J. For. Sci. 13(2). 222-228.

WHITTAKER, R.; MARKS, P. (1975): Methods of Assessing Terrestrial Productivity. In Primary Productivity of the Biosphere. Ecological Studies 14. Springer-Verlag, Berlin. 55-118.

WIANT, H.; HARNER, E. (1979): Percent Bias and Standard Error in Logarithmic Regression. Forest Science 25(1). 167-168.

YANDLE, D.; WIANT, H. (1981): Estimation of Plant Biomass Based on the Allometric Equation. Canadian Journal For.Res. 11. 833-834.

7. VERZEICHNISSE

7.1. Tabellen

Tab. 1: Regionalverteilung der Flächen mit Pinus radiata Plantagen in Chile (Stand: Dezember 1984)

Tab. 2: Plantagenfläche in Chile, aufgeteilt nach Baumarten, mit wirtschaftlicher Bedeutung

Tab. 3: Jährlicher Zuwachs der gesamten Plantagenfläche in Chile und des Anteils der Pinus radiata Flächen; Zeitraum: 1978-1986

Tab. 4: Aufteilung des Untersuchungsgebietes in sieben Stichprobenzonen

Tab. 5: Geographische Verteilung der Pinus radiata Probebestände und Probebäume

Tab. 6: Regressionsschätzfunktionen und statistische Kennwerte zur Bestimmung der grünen Astteilgewichte von Pinus radiata aus den Astkenngrößen Durchmesser und Länge

Tab. 7: Statistische Kennwerte der Regressionsschätzfunktion zur Bestimmung des totes Astgewichtes von Pinus radiata aus den Astkenngrößen Durchmesser und Länge

Tab. 8: Statistische Kennwerte der Regressionsschätzfunktion zur Bestimmung der Nadeloberfläche von Pinus radiata aus dem Nadelgewicht

Tab. 9: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Stammgewicht und Baumkenngrößen

Tab. 10: Regressionskoeffizienten und statistische Kennwerte für die Bestimmungsgleichung zur Schätzung des Stammtrockengewichtes aus den Baumhöhen und der Stammgrundfläche

Tab. 11: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Trockengewicht der toten Äste und Baumkenngrößen

Tab. 12: Regressionskoeffizienten sowie statistische Kennwerte zur Schätzung des Trockengewichtes der toten Äste aus dem Brusthöhendurchmesser und der Kronenlänge

Tab. 13: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Trockengewicht der grünen Zweige und Äste sowie Baumkenngrößen

Tab. 14: Regressionskoeffizient und statistische Kennwerte zur Schätzung des Trockengewichtes der grünen Zweige und Äste aus dem Brusthöhendurchmesser und der Kronenlänge

Tab. 15: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Nadeltrockengewicht und Baumkenngrößen

Tab. 16: Regressionskoeffizient und statistische Kennwerte zur Bestimmung des Nadeltrockengewichtes aus Brusthöhendurchmesser und Kronenlänge

Tab. 17: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem gesamten Trockengewicht der grünen Äste und Baumkenngrößen

Tab. 18: Regressionskoeffizient und statistische Kennwerte zur Bestimmmung des gesamten Trockengewichtes der grünen Äste aus dem Brusthöhendurchmesser und der Kronenlänge

Tab. 19: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Zapfentrockengewicht und Baumkenngrößen

Tab. 20: Regressionskoeffizient und statistische Kennwerte zur Bestimmung des Zapfentrockengewichtes aus der Baumhöhe und dem Brusthöhendurchmesser

Tab. 21: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen dem Baumgewicht und Baumkenngrößen

Tab. 22: Regressionskoeffizienten und statistische Kennwerte zur Bestimmung des Baumtrockengewichtes aus der Baumhöhe und der Stammgrundfläche

Tab. 23: Prozentuale Verteilung der Gewichte der Baumorgane (über die gesamte Baumbiomasse), aufgeteilt nach Alters- und Baumkronenklassen

Tab. 24: Mittlerer laufender Biomassezuwachs der verschiedenen Teile der Bäume, aufgeteilt nach Alters- und Baumkronenklassen

Tab. 25: Mittel- und Extremwerte für verwendete klimatologische Parameter und Produktivitätskenngrößen im Untersuchungsgebiet

Tab. 26: Korrelationsmatrix zur Charakterisierung der Zusammenhänge zwischen Standortindex SI,Produktivitätsindex PI und klimatologischen Parametern

Tab. 27: Regressionskoeffizienten und statistische Kennwerte des Modells zur Schätzung des Standortsindex SI von 20 Jahre alten Pinus radiata Plantagen aus der Winterniederschlagssumme und der jährlichen frostfreien Periode

Tab. 28: Vergleich zwischen Meß- und Schätzwerten bei den Validierungsbeständen für den Standortsindex

Tab. 29: Regressionskoffizienten sowie statistiche Kennwerte des Modells zur Schätzung des Produktivitätsindex PI von 12 Jahre alten Pinus radiata Plantagen aus der jährlichen Niederschlagssumme und der jährlichen frostfreien Periode

Tab. 30: Vergleich zwischen Meß- und Schätzwerten bei den Validierungsbeständen für den Produktivitätsindex

Tab. 31: Mittelwerte von realer Produktivität, Blattoberflächenindex BFI und klimatologischen Parametern von vier 15 Jahre alten Pinus radiata Probebeständen im Untersuchungsgebiet

7.2. Abbildungen

Abb. 1: Natürliches Verbreitungsgebiet der Pinus radiata in Kalifornien, USA

Abb. 2: Länder mit den weltweit größten Flächen an Pinus radiata Plantagen, bezogen auf den Beginn des Jahres 1984

Abb. 3: Lage der größten Anbauflächen von Pinus radiata in Chile

Abb. 4: Geographische Lage des Untersuchungsgebietes

Abb. 5: Auszug aus der Geologischen Karte von Chile

Abb. 6: Bodenklassifizierung des Untersuchungsgebietes

Abb. 7: Klimaklassifikation nach KÖPPEN für das Untersuchungsgebiet und die Umgebung, modifiziert von FUENZALIDA

Abb. 8: Mittlere Jahressumme der Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche unter Berücksichtigung der Bewölkerungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet

Abb. 9: Mittlere jährliche Lufttemperatur im Untersuchungsgebiet

Abb. 10: Mittlere jährliche Niederschlagssumme im Untersuchungsgebiet

Abb. 11: Mittlere jährliche potentielle Verdunstungshöhe im Untersuchungsgebiet

Abb. 12: Klimadiagramme von GAUSSEN-WALTER von verschiedenen Orten im Untersuchungsgebiet

Abb. 13: Schematische Darstellung der Untersuchungsmethode

Abb. 14: Schematische Darstellung der Methode zur Bestimmung der Biomasse von Probebäumen

Abb. 15: Beziehung zwischen der Nadeloberfläche und dem Nadelgewicht, auf der Basis von 192 Nadelstichproben von Pinus radiata mit jeweils 50 Nadeln

Abb. 16: Restwerteverteilung der berechneten Nadeloberflächenwerte

Abb. 17: Stammtrockengewicht in Abhängigkeit von Stammgrundfläche und Baumhöhe

Abb. 18: Restwerteverteilung der berechneten Stammtrokkengewichtswerte

Abb. 19: Trockengewicht der toten Äste in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe und Kronenlänge

Abb. 20: Restwerteverteilung des berechneten Trockengewichts der toten Äste

Abb. 21: Trockengewicht der grünen Zweige und Äste in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser und Kronenlänge

Abb. 22: Restwerteverteilung des berechneten Trockengewichtes der grünen Zweige und Äste

Abb. 23: Nadeltrockengewicht in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser und Kronenlänge

Abb. 24: Restwerteverteilung der berechneten Nadeltrokkengewichte

Abb. 25: Gesamtes Trockengewicht der grünen Äste in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser und Kronenlänge

Abb. 26: Restwerteverteilung des berechneten gesamten Trockengewichtes der grünen Äste

Abb. 27: Zapfentrockengewicht in Abhängigkeit von Brusthöhendurchmesser und Baumhöhe

Abb. 28: Restwerteverteilung der berechneten Zapfentrockkengewichtswerte

Abb. 29: Baumtrockengewicht in Abhängigkeit von Baumhöhe und Stammgrundfläche

Abb. 30: Restwerteverteilung der berechneten Baumtrokkengewichte

Abb. 31: Prozentuale Gewichtsverteilung der Baumorgane, aufgeteilt nach Baumkronen- und Altersklassen

Abb. 32: Mittlerer laufender Biomassezuwachs der verschiedenen Teile der Bäume, aufgeteilt nach Alters- und Baumkronenklasse

Abb. 33: Vertikale Verteilung des Nadeltrockengewichtes in der Krone für herrschende und mitherrschende Pinus radiata Bäume

Abb. 34: Vertikale Verteilung des Nadeltrockengewichtes in der Krone für zwischenständige Pinus radiata Bäume

Abb. 35: Verteilungsdiagramm der gemessenen Werte des Standortsindex SI von Pinus radiata in Abhängigkeit von der Winterniederschlagssumme und der Länge der frostfreien Periode

Abb. 36: Standortsindex SI von 20 Jahren alten Pinus radiata Plantagen in Abhängigkeit von der Winterniederschlagssumme und der jährlichen frostfreien Periode

Abb. 37: Restwerteverteilung der berechneten Standortsindexwerte

Abb. 38: Dreidimensionale Verteilung der gemessenen Werte des Produktivitätsindex PI von Pinus radiata in Abhängigkeit von der jährlichen Niederschlagssumme und der Länge der jährlichen frostfreien Periode

Abb. 39: Produktivitätsindex von 12 Jahre alten Pinus radiata Plantagen in Abhängigkeit von der jährlichen Niederschlagssumme und der jährlichen frostfreien Periode

Abb. 40: Restwerteverteilung der berechneten Produktivitätsindexwerte

Abb. 41: Potentieller Standortstindex von 20-jährigen Pinus radiata Plantagen im Untersuchungsgebiet; dargestellt in Form von Isolinien

Abb. 42: Potentielle Produktivität von 12-jährigen Pinus radiata Plantagen im Untersuchungsgebiet; dargestellt in Form von Isolinien

Abb. 43: Potentielle Produktivität der natürlichen Pflanzenbedeckung im Untersuchungsgebiet, berechnet durch das "Miami-Modell" (LIETH) und dargestellt in Form von Isolinien

Abb. 44: Mittlere reale Produktivität, Blattoberflächenindex, mittlere jährliche Niederschlagssumme, mittleres jährliches hygrisches Defizit und mittlere jährliche Länge der Trockenperiode von vier Probesbeständen in 15 Jahre alten Pinus radiata Plantagen im Untersuchungsgebiet

8. TABELLEANHANG

ANHANG I: BAUMGRÖSSEN UND BIOMASSEN DER STICHPROBENBÄUME

Ort: 1 = Pichilemu (VI Region), 2 = Empedrado (VII Region), 3 = Penuelas (V Region), 4 = Valdivia (X Region), 5 = Arauco (VIII Region), 6 = Nacimiento (VIII Region), 7 = Puerto Saavedra im Richtung Nord (IX Region), 8 = Puerto Saavedra im Richtung Ost (IX Region)

Kronenklasse: 1 = herrschende Bäume, 2 = mitherrschende Bäume, 3 = zwischenständige Bäume, 4 = unterdrückte Bäume

Ort	Alter	Kronen-klasse	BHD. (cm)	Baum-hoehe (cm)	Kronen-ansatz-hoehe (cm)	BIOMASSE (Kg) Stamm	Nadeln	gruene Aeste	gruene Aeste gesamt	Zapfen	tote Aeste	gesamter Baum
1	12	2	15.00	1535	157	43.86	9.61	11.40	21.01	2.85	1.25	68.97
1	12	3	9.40	1175	38	16.95	3.51	3.85	7.36	4.69	.01	29.01
1	12	2	16.80	1642	245	70.34	10.52	13.10	23.62	2.44	3.57	99.97
1	12	1	21.20	1595	195	90.69	15.11	19.88	34.99	4.52	3.46	133.66
1	12	3	13.20	1528	440	97.84	4.52	3.77	8.29	3.32	1.78	111.23
1	12	1	20.70	1538	106	67.96	16.78	28.14	44.92	3.79	4.44	121.11
1	12	4	4.50	815	45	2.40	.74	.34	1.08	.46	.00	3.94
1	12	3	7.30	1237	385	10.92	1.12	.50	1.62	2.13	.90	15.57
1	12	3	11.50	1359	175	28.96	4.30	3.84	8.14	1.52	1.15	39.77
1	12	2	15.40	1501	171	52.40	14.08	12.78	26.86	4.12	1.44	84.82
1	10	1	18.00	1669	250	72.21	16.76	11.32	28.08	.78	2.54	103.61
1	10	2	15.20	1541	458	48.56	6.35	6.86	13.21	.55	3.58	65.90
1	10	2	13.30	1367	307	36.13	5.85	6.96	12.81	.53	2.90	52.37
1	10	3	13.40	1294	347	36.25	2.92	3.33	6.25	.57	2.12	45.19
1	10	3	11.70	1316	84	25.82	3.92	4.44	8.36	.38	1.03	35.59
1	10	2	15.90	1540	495	44.82	5.41	5.46	10.87	.00	4.58	60.27
1	10	4	6.80	1078	142	4.55	1.42	.93	2.35	.60	.12	7.62
1	10	1	23.20	1786	406	116.09	23.48	14.15	37.63	.98	8.62	163.32
1	10	2	14.70	1508	456	41.07	4.75	4.86	9.61	.63	3.76	55.07
1	10	1	17.00	1577	283	64.09	8.47	10.71	19.18	.61	4.08	87.96
1	7	3	8.40	763	83	9.54	2.57	2.33	4.90	.00	.14	14.58
1	7	1	14.70	1042	35	28.33	9.44	11.74	21.18	.50	.43	50.44
1	7	1	12.90	1091	48	24.57	7.96	11.44	19.40	.39	.66	45.02

Ort	Alter	Kronen-klasse	BHD. (cm)	Baum-hoehe (cm)	Kronen-ansatz-hoehe (cm)	BIOMASSE (kg) Stamm	Nadeln	gruene Aeste	gruene Aeste gesamt	Zapfen	tote Aeste	gesamter Baum
1	7	2	11.30	892	34	18.04	6.51	8.60	15.11	.32	.22	33.69
1	7	3	9.70	897	38	13.38	6.65	6.32	12.97	.27	.21	26.83
1	7	1	14.10	994	134	36.96	6.90	11.90	18.80	.21	.90	56.87
1	7	3	9.00	870	40	11.53	4.33	4.34	8.67	.24	.12	20.56
1	7	2	10.60	874	75	15.06	6.94	8.27	15.21	.21	.33	30.81
1	7	1	12.20	975	104	20.04	7.42	9.62	17.04	.54	1.22	38.84
1	7	2	10.70	950	28	15.17	5.30	5.31	10.61	.08	.44	26.30
2	15	3	15.50	1496	222	48.74	6.69	6.99	13.68	4.52	.98	67.92
2	15	2	16.50	1246	295	45.37	9.89	12.35	22.24	.08	7.62	75.31
2	15	2	21.00	1404	241	81.21	15.36	32.47	47.83	3.63	4.79	137.46
2	15	2	17.50	1645	278	66.30	7.38	8.90	16.28	1.53	2.07	86.18
2	15	2	15.00	1582	162	43.90	6.98	6.89	13.87	3.54	1.14	62.45
2	15	4	12.00	1503	217	28.03	8.36	15.05	23.41	2.91	.98	55.33
2	15	2	19.50	1729	547	93.57	7.95	11.96	19.91	4.50	6.73	124.71
2	15	1	30.00	1755	263	119.71	16.17	42.41	58.58	20.85	7.16	206.30
2	15	1	25.00	1712	265	133.70	20.10	55.81	75.91	11.78	2.71	224.10
2	12	2	20.50	1872	395	83.58	8.81	24.12	32.93	1.47	5.05	123.03
2	12	2	17.50	1843	225	83.43	10.08	14.31	24.39	2.63	3.51	113.96
2	12	1	23.50	2150	334	137.32	13.31	37.32	50.63	.62	12.56	201.13
2	12	2	17.00	1772	464	65.51	9.75	13.36	23.11	3.97	4.76	97.35
2	12	2	20.50	1675	365	74.74	10.35	24.89	35.24	.64	18.03	128.65
2	12	2	15.00	1585	587	47.50	3.91	5.95	9.86	.00	5.08	62.44
2	12	1	21.50	1636	584	48.33	4.91	5.76	10.67	.73	3.81	63.54
2	12	2	14.50	1586	390	40.58	6.13	7.23	13.36	1.32	4.01	59.27
2	12	3	10.50	1459	440	24.84	2.32	1.47	3.79	1.54	1.70	31.87
2	7	2	9.00	761	55	9.74	4.26	3.30	7.56	.86	.00	18.16
2	7	1	12.00	768	16	14.54	8.18	11.75	19.93	.52	.00	34.99

Ort	Alter	Kronen-klasse	BHD. (cm)	Baum-hoehe (cm)	Kronen-ansatz-hoehe (cm)	BIOMASSE (kg) Stamm	Nadeln	gruene Aeste	gruene Aeste gesamt	Zapfen	tote Aeste	gesamter Baum
2	7	2	11.10	859	13	15.27	5.75	6.76	12.51	.32	.00	28.10
2	7	3	75.00	667	87	5.02	2.33	1.54	3.87	.07	.00	8.96
2	7	2	10.00	807	27	10.66	3.66	3.73	7.39	.00	.00	18.05
2	7	1	14.00	930	18	19.79	7.70	9.20	16.90	1.46	.07	38.22
2	15	1	31.30	2220	350	253.26	93.41	22.06	115.47	12.26	27.17	408.16
2	15	2	20.70	2125	95	135.92	12.38	16.93	29.31	17.02	4.12	186.37
2	15	2	20.80	2100	48	131.97	9.96	13.19	23.15	19.88	10.27	185.27
2	15	3	18.50	1950	50	84.37	5.17	14.11	19.28	1.55	7.48	112.68
2	15	4	9.60	1170	230	13.80	2.68	2.77	5.45	.00	1.18	20.43
2	15	1	30.50	2117	550	202.69	19.40	77.54	96.94	72.23	2.07	373.93
2	15	3	19.00	2108	740	103.05	8.73	8.79	17.52	3.48	6.28	130.33
2	15	3	18.10	1940	47	75.93	9.51	10.77	20.28	2.48	28.25	126.94
2	15	2	26.10	2125	655	190.77	12.38	16.55	28.93	27.69	18.42	265.81
2	15	1	29.70	2300	692	287.78	23.95	53.01	76.96	7.13	27.43	399.30
2	7	2	15.40	1194	45	43.94	5.42	8.63	14.05	.21	.00	58.20
2	7	3	13.20	990	275	19.55	5.09	7.03	12.12	.00	.00	31.67
2	7	2	15.90	1175	37	44.26	9.88	11.71	21.59	.27	.00	66.12
2	7	4	8.20	747	33	7.28	3.15	2.65	5.80	.21	.00	13.29
2	7	1	16.20	1170	50	49.56	10.14	16.46	26.60	.00	.00	76.16
2	7	1	18.80	1142	62	50.42	12.63	21.35	33.98	2.34	.00	86.74
2	7	1	18.10	1157	260	38.26	11.45	17.61	29.06	.42	.00	67.74
2	7	3	12.00	945	47	20.22	8.05	8.65	16.70	.00	.00	36.92
2	12	1	26.00	2202	227	174.14	19.15	41.24	60.39	.73	8.80	244.06
2	12	3	16.00	1558	317	57.01	6.27	6.70	12.97	1.04	3.05	74.07
2	12	3	16.00	1874	493	59.54	6.03	6.35	12.38	6.56	4.23	82.71
2	12	2	19.00	1695	553	85.32	11.47	12.11	23.58	4.60	3.98	117.48
2	12	1	21.50	1788	210	119.67	14.80	20.64	35.44	13.44	3.94	172.49

Ort	Alter	Kronen-klasse	BHD. (cm)	Baum-hoehe (cm)	Kronen-ansatz-hoehe (cm)	BIOMASSE (kg) Stamm	Nadeln	gruene Aeste	gruene Aeste gesamt	Zapfen	tote Aeste	gesamter Baum
2	12	2	20.50	2084	320	110.10	10.35	16.26	26.61	1.62	4.77	143.10
2	12	2	21.00	1985	318	114.97	12.80	19.12	31.92	2.68	5.08	154.65
3	15	2	20.20	1620	190	74.86	11.12	16.56	27.68	3.16	2.41	108.11
3	15	3	18.30	1685	326	64.24	6.31	8.58	14.89	4.76	2.71	86.60
3	15	1	21.10	1857	269	100.51	12.98	22.01	34.99	1.58	.00	137.08
3	15	1	23.00	2114	363	136.79	15.81	30.34	46.15	4.92	1.58	189.44
3	15	2	21.60	1800	184	99.33	12.98	21.18	34.16	4.18	2.11	139.78
3	15	3	15.00	1631	230	48.16	7.96	8.21	16.17	2.65	.32	67.30
3	15	1	22.20	2095	242	122.14	13.83	27.17	41.00	3.77	.00	166.91
3	15	1	21.50	1901	173	108.28	14.02	24.36	38.38	4.37	.00	151.03
3	15	2	19.80	1745	192	95.96	10.75	16.04	26.79	1.66	.00	124.41
3	15	2	20.40	1757	215	77.23	11.72	17.31	29.03	2.04	.00	108.30
3	10	2	16.80	1245	180	42.43	11.12	16.56	27.68	.95	.01	71.07
3	10	1	20.10	1478	190	57.37	11.75	19.96	31.71	2.91	.02	92.01
3	10	3	13.50	1100	180	20.76	6.94	10.14	17.08	.86	.00	38.70
3	10	4	4.60	642	65	2.15	.97	.63	1.60	.00	.03	3.78
3	10	2	15.80	1105	132	29.77	8.32	13.98	22.30	.99	.00	53.06
3	10	2	17.00	1104	155	44.41	11.59	26.33	37.92	1.99	.00	84.32
3	10	3	11.40	1250	248	24.05	4.79	3.63	8.42	.88	.22	33.57
3	10	1	17.80	1425	175	58.68	20.11	24.39	44.50	4.51	.03	107.72
3	10	1	18.90	1493	167	66.30	22.14	27.89	50.03	1.65	.00	117.98
3	10	2	17.10	1125	145	43.18	11.07	23.17	34.24	1.17	.00	78.59
4	15	2	27.60	2560	765	266.94	12.98	21.18	34.16	4.85	3.87	309.82
4	15	2	26.50	2390	1130	204.45	11.12	16.56	27.68	4.78	12.36	249.27
4	15	3	18.30	1598	873	60.20	6.31	8.58	14.89	.08	6.71	81.88
4	15	1	31.80	2680	1054	347.60	7.96	8.20	16.16	16.93	25.12	405.81
4	15	1	30.30	2405	1114	269.51	15.50	30.34	45.84	18.03	23.49	356.87

Ort	Alter	Kronen-klasse	BHD. (cm)	Baum-hoehe (cm)	Kronen-ansatz-hoehe (cm)	BIOMASSE (kg) Stamm	Nadeln	gruene Aeste	gruene Aeste gesamt	Zapfen	tote Aeste	gesamter Baum
4	15	2	24.80	2504	962	187.70	12.99	22.10	35.09	6.74	9.37	238.90
4	15	1	30.50	2489	1098	278.23	14.79	31.07	45.86	15.76	20.51	360.36
4	15	1	31.10	2701	1055	304.57	10.57	25.98	36.55	8.77	20.99	370.88
4	15	2	27.30	2582	877	251.01	13.54	20.45	33.99	4.95	5.28	295.23
4	15	2	26.80	2409	981	212.74	12.23	18.39	30.62	5.76	13.04	262.16
4	12	1	20.00	1845	831	79.09	7.95	11.87	19.82	5.94	12.81	117.66
4	12	1	16.80	1941	975	93.53	11.28	20.32	31.60	3.44	4.69	133.26
4	12	1	21.70	2068	900	130.51	17.89	26.41	44.30	7.73	10.92	193.46
4	12	1	23.80	1998	882	133.89	14.34	35.53	49.87	4.18	11.48	199.42
4	12	1	23.20	1972	660	123.48	22.26	27.83	50.09	23.52	10.65	207.74
4	12	1	21.90	1885	752	101.95	13.68	24.68	38.36	10.73	15.24	166.28
4	12	2	17.50	1710	900	57.25	5.71	7.27	12.98	2.02	6.04	78.29
4	12	2	20.80	1852	1011	83.36	6.13	11.01	17.14	5.63	17.82	123.95
4	12	3	12.00	1502	518	26.56	2.60	1.69	4.29	.16	2.93	33.94
4	12	3	14.50	1840	982	49.04	4.04	3.40	7.44	2.29	9.07	67.84
5	26	3	21.20	2280	1050	127.20	2.00	17.40	19.40	14.20	15.10	175.90
5	26	1	43.10	3580	950	804.70	15.10	83.90	99.00	.00	17.00	920.70
5	27	2	34.20	3250	1510	500.70	24.20	29.80	54.00	4.40	17.60	576.70
5	27	1	37.10	3720	1730	658.80	38.40	51.50	89.90	3.70	23.00	775.40
5	27	1	37.50	3710	1417	673.80	11.40	35.20	46.60	15.60	26.70	762.70
5	27	1	47.40	3860	1940	1078.20	34.30	92.40	126.70	35.40	42.60	1282.90
5	27	2	29.30	2800	1580	363.87	22.56	15.83	38.39	4.54	15.15	421.95
5	27	1	48.00	3480	1720	940.40	20.72	55.56	76.28	9.24	41.41	1067.33
5	20	3	23.00	2440	1100	155.30	6.30	16.50	22.80	2.70	9.20	190.00
5	20	4	16.30	2340	1470	89.80	1.90	6.00	7.90	2.40	5.60	105.70
5	20	1	33.00	2820	1650	301.50	11.80	23.20	35.00	4.50	26.10	367.10
5	20	2	27.50	2710	990	236.50	20.20	23.10	43.30	6.30	13.90	300.00

Ort	Alter	Kronen-klasse	BHD. (cm)	Baum-hoehe (cm)	Kronen-ansatz-hoehe (cm)	BIOMASSE (kg) Stamm	Nadeln	gruene Aeste	gruene Aeste gesamt	Zapfen	tote Aeste	gesamter Baum
5	27	1	40.10	3140	1480	698.20	26.30	48.10	74.40	16.80	23.08	812.48
5	27	2	33.80	2610	1080	434.20	17.50	35.80	53.30	9.07	11.70	508.27
6	20	1	26.60	2470	1010	237.80	20.00	33.10	53.10	.60	16.90	308.40
6	20	1	26.50	2430	1010	262.50	24.70	31.80	56.50	.00	18.80	337.80
6	20	1	27.20	2690	1010	242.70	18.00	31.30	49.30	4.40	5.20	301.60
6	20	2	21.60	1970	1010	119.30	7.50	14.50	22.00	7.40	4.40	153.10
6	20	1	27.20	2900	1810	303.10	9.60	16.20	25.80	7.30	32.20	368.40
6	20	3	23.40	2460	1740	129.80	2.20	7.60	9.80	3.70	25.30	168.60
6	20	1	30.80	2780	1700	385.10	10.80	24.80	35.60	.20	24.70	445.60
6	20	1	32.50	2940	1010	330.60	14.80	41.40	56.20	13.90	17.40	418.10
6	20	1	30.00	2920	1020	254.51	19.16	23.46	42.62	4.87	8.71	310.71
6	20	2	28.50	2820	1540	339.29	10.76	20.79	31.55	14.20	24.51	409.55
6	20	2	26.20	2440	1390	175.71	5.72	13.39	19.11	13.44	11.83	220.09
7	23	2	23.80	2620	1790	169.90	4.50	9.70	14.20	1.50	10.10	195.70
7	23	2	23.80	2790	1580	228.00	5.10	12.10	17.20	7.10	7.90	260.20
7	23	2	31.00	2870	1540	360.80	15.70	25.20	40.90	33.00	16.70	451.40
7	23	1	44.50	3480	1620	708.40	37.40	39.50	76.90	18.90	21.80	826.00
7	25	2	34.80	3350	1470	551.24	37.24	43.68	80.92	12.18	10.86	655.20
7	25	1	30.10	3250	1140	442.19	22.52	25.41	47.93	8.48	8.00	506.60
7	25	2	37.60	3340	1800	584.90	20.60	25.54	46.14	19.24	12.35	662.63
7	22	1	32.00	2700	1050	252.50	29.80	35.70	65.50	9.80	18.00	345.80
7	22	1	26.80	2670	1110	212.60	28.80	33.20	62.00	6.10	14.30	295.00
7	22	2	25.50	2630	1010	192.20	19.30	40.50	59.80	6.80	7.20	266.00
7	22	1	26.90	2670	1010	215.80	12.20	44.10	56.30	.00	16.90	289.00
7	24	1	26.50	2810	1250	285.26	18.48	19.62	38.10	14.11	7.02	344.49
7	24	1	27.40	2800	1340	277.13	14.52	19.19	33.71	16.04	7.28	334.16
7	24	2	26.40	2580	1010	207.85	13.96	15.03	28.99	7.73	6.70	251.27

Ort	Alter	Kronen-klasse	BHD (cm)	Baum-hoehe (cm)	Kronen-ansatz-hoehe (cm)	BIOMASSE (kg) Stamm	Nadeln	gruene Aeste	gruene Aeste gesamt	Zapfen	tote Aeste	gesamter Baum
7	20	3	24.60	2530	1630	228.26	4.76	10.96	15.72	3.70	11.96	259.64
7	20	1	40.60	3250	1570	615.86	10.40	18.26	28.66	15.20	29.12	688.84
7	20	2	34.60	2860	1720	439.70	17.28	22.23	39.51	2.02	10.14	491.37
7	20	1	29.50	2970	1650	349.13	14.16	30.43	44.59	3.61	13.46	410.79
7	20	2	25.80	2780	1440	272.20	11.24	22.31	33.55	2.86	14.76	323.37
7	20	2	23.50	2550	1490	192.00	11.20	16.02	27.22	7.06	8.71	234.99
7	20	2	25.40	2740	1470	254.51	12.52	13.18	25.70	7.31	7.87	295.39
8	23	1	26.00	2450	1350	240.21	12.16	24.66	36.82	9.24	14.63	300.90
8	23	2	22.30	2570	1180	176.53	7.28	22.00	29.28	4.37	7.61	217.79
8	23	1	29.80	2700	1410	304.33	15.08	19.82	34.90	8.74	7.00	354.97
8	24	2	28.70	2850	1490	264.48	6.28	8.66	14.94	17.47	15.02	311.91
8	24	3	23.00	2200	1440	127.23	4.64	12.35	16.99	23.02	19.70	186.94
8	24	1	35.40	2800	1410	437.55	18.80	29.87	48.67	28.90	28.80	543.92
8	24	1	31.30	2910	1450	363.49	15.12	23.08	38.20	20.08	16.77	438.54

ANHANG II: MITTLERE KLIMATOLOGISCHE WERTE UND MITTLERE BAUMGRÖSSEN DER STICHPROBENBESTÄNDE

Symbolerläuterungen am Tabellenende

Bestand	Region	HTJr	TTJr	HTJr	TTJi	GJr	Gji	RHJr	RHJi	Ns	Nw	N	ETP	HD	JTS	JKS	FFP	SFI	WFI	JFI	LTP	VWR	SI	BHD	H
1	5	21.8	14.9	13.2	7.8	510	153	78	89	10	184	325	972	754	1587	282	364	.02	3.06	.38	8	31	21.4	9.47	11.87
2	5	22	14.9	13.4	7.5	504	151	79	89	11	198	350	972	761	1580	283	363	.02	3.06	.38	8	31	19.8	9.74	10.80
3	5	22.4	14.5	13.2	7	510	154	79	88	11	204	360	972	702	1454	245	363	.02	3.06	.38	8	31	21.3	10.49	11.01
4	5	22.4	14.5	13.3	7.2	503	152	79	88	12	215	360	972	691	1415	250	362	.02	3.06	.38	8	31	20.6	11.27	10.96
5	5	23.7	15.6	12.2	5.7	494	148	74	84	14	254	450	1074	767	1550	372	334	.02	3.65	.46	8	57	24.6	14.15	14.40
6	5	23.8	15.6	12	5.6	499	149	73	84	14	254	450	1074	770	1555	415	330	.02	3.65	.46	8	57	28.3	19.80	17.20
7	5	22.9	15.3	12.3	5.8	490	149	76	85	14	254	450	1074	737	1482	234	343	.02	3.65	.46	8	57	20.8	16.15	12.55
8	5	23.8	15.7	11.9	5.5	508	150	73	83	14	257	455	1080	771	1561	462	329	.02	3.65	.46	8	57	28	16.50	17.20
9	5	24	15.8	11.9	5.4	518	151	72	83	14	254	450	1074	785	1584	490	328	.02	3.65	.46	8	57	27.2	19.08	16.20
10	5	22.4	15	12.7	5.9	510	150	79	87	13	226	400	980	689	1415	305	353	.02	3.06	.39	8	35	22	14.62	13.09
11	5	22.4	14.9	12.7	5.9	510	150	79	87	13	226	400	980	688	1413	307	354	.02	3.06	.39	8	35	23.6	13.00	14.20
12	5	22.6	15.1	12.3	5.8	508	149	78	87	13	240	425	980	696	1432	342	348	.02	3.06	.39	8	35	25.6	15.16	15.60
13	5	22.8	15.3	12	5.7	493	148	76	85	14	254	450	983	710	1472	368	340	.02	3.06	.4	8	42	23	14.80	14.40
14	5	23.7	15.7	11.6	5.2	498	148	73	83	14	260	460	1074	749	1555	490	323	.02	3.65	.46	8	57	28.4	18.48	16.80
15	5	22.3	14.8	12.6	5.9	508	150	79	87	12	220	390	972	680	1403	317	356	.02	3.06	.39	8	33	27.6	18.48	15.48
16	5	22.3	14.4	13	6.4	506	152	79	87	12	223	395	978	678	1390	308	357	.02	3.06	.39	8	33	28	20.60	17.30
17	5	22.3	14.7	12.8	6	509	151	79	87	13	226	400	983	683	1402	318	354	.02	3.06	.4	8	35	23.1	15.24	13.68
18	5	22.3	14.4	12.9	6.3	506	152	79	87	12	223	395	983	678	1390	312	356	.02	3.06	.39	8	33	21.1	14.76	12.60
19	5	22.5	14.7	12.5	5.9	506	151	78	87	13	240	425	988	685	1407	353	350	.02	3.06	.41	8	38	21.4	9.64	10.13
20	5	24.1	15.7	11.5	5.1	502	149	73	83	14	254	450	1074	756	1577	517	320	.02	4	.48	8	38	21.6	16.80	13.20
21	5	24	15.7	11.5	5.1	502	149	73	83	14	254	450	1074	757	1577	514	320	.02	4	.48	8	43	19.8	11.40	9.60
22	5	24.1	15.7	11.5	5	501	149	73	83	14	257	455	1074	753	1576	522	320	.02	4	.48	8	43	20.3	13.50	12.10
23	5	22.2	14.2	12.5	6	504	152	79	87	14	260	460	990	669	1377	343	357	.02	3.15	.4	8	48	26.2	17.45	15.93
24	5	22.5	14.6	12.5	5.9	508	151	78	87	13	238	420	990	682	1397	360	354	.02	3.15	.4	8	48	20.7	8.04	6.84
25	5	22.9	15	11.9	5.7	505	148	77	86	13	238	420	995	697	1430	407	345	.02	3.3	.43	8	53	20.6	9.23	9.60
26	5	24.2	15.6	11.5	5	500	149	73	83	14	254	450	1080	749	1573	535	321	.02	3.3	.43	8	53	20	12.60	10.10
27	5	22.2	14.2	12.6	6	503	152	79	87	13	226	400	990	664	1370	350	358	.02	3.3	.43	8	53	20.1	14.64	11.04
28	5	22.5	14.6	12.1	5.9	501	150	78	87	13	226	400	990	675	1395	385	351	.02	3.3	.43	8	53	19.9	13.66	11.45
29	5	22.4	14.8	12.2	6	500	151	78	87	13	226	400	990	667	1380	380	355	.02	3.3	.43	8	55	24.1	13.46	14.66
30	5	22.4	15.5	11.4	5	507	151	73	83	14	249	440	1085	758	1582	582	320	.02	4.2	.5	8	55	22.6	15.53	13.58
31	5	22.4	14.2	12.2	6	503	151	78	88	13	226	400	990	662	1370	387	359	.02	3.15	.4	8	65	21.1	15.36	12.96
32	5	22.9	14.7	11.9	5.8	510	149	77	87	13	232	410	990	691	1410	420	353	.02	3.3	.43	8	68	20.4	8.44	7.96
33	5	22	13.9	12.4	6.1	499	153	79	88	13	226	400	990	637	1330	378	362	.02	3.15	.4	8	65	25.9	14.04	15.00
34	5	23.8	14.9	11.5	5.1	504	150	75	85	13	240	425	1077	727	1523	549	333	.02	3.7	.48	8	72	21.9	10.17	12.10
35	5	23.9	14.9	11.5	5.1	500	150	74	84	14	246	435	1077	735	1543	560	330	.02	3.7	.48	8	72	22.1	9.60	11.74
36	5	25.2	15.7	11.1	4.5	527	154	71	82	14	249	440	1135	783	1823	683	306	.02	3.15	.38	8	60	22.4	12.05	12.60
37	5	22.6	14.2	11.8	5.7	599	152	78	87	13	232	410	990	650	1315	470	353	.02	3.7	.48	8	72	19.9	13.68	12.16
38	5	23.8	14.6	11.5	5.1	516	151	75	86	13	240	425	1035	706	1457	543	342	.02	3.15	.4	8	65	23	11.49	11.49
39	5	21.7	13.9	11.9	5.8	493	153	79	88	13	229	405	1000	611	1192	473	362	.02	4.2	.5	8	72	27.8	13.98	15.24
40	5	24	14.9	11.1	4.9	525	156	74	86	14	246	435	1105	713	1506	593	339	.02	3.3	.41	8	65	27.5	12.42	14.76
41	5	21.9	14.1	11.5	5.4	501	153	78	88	13	232	410	1040	637	1240	530	360	.02	4.2	.5	8	72	26	14.20	14.13
42	5	21.4	13.6	11.6	5.4	463	149	81	89	13	232	410	1040	618	1233	513	363	.02	4.2	.51	7	75	24	11.89	12.87
43	5	21.8	13.9	11.4	5.1	489	153	79	88	13	240	425	1080	672	1299	544	359	.02	4.2	.51	7	75	25.6	10.44	13.74
44	5	21.9	14	11.4	5.1	493	153	79	88	13	240	425	1080	682	1325	560	358	.02	4.2	.51	7	75	27.4	11.89	14.13
45	5	22.2	14.3	11.3	4.8	505	155	77	87	14	246	435	1080	698	1390	590	350	.02	4.2	.51	7	75	24.2	13.84	13.98
46	6	25.1	11.5	13.1	5	548	154	65	84	24	434	727	1170	765	1538	708	306	.05	4.83	.62	7	75	22.7	12.77	13.80
47	6	23.8	11	12.9	5.5	524	146	73	87	20	375	640	1080	691	1294	554	362	.04	4.76	.59	7	75	19.8	10.91	11.35
48	6	23.7	10.9	12.9	5.5	526	146	72	87	21	380	643	1080	689	1296	556	362	.05	4.82	.6	7	75	21.4	9.11	12.55
49	6	24.3	11.1	13	5.2	536	148	69	86	24	423	710	1123	721	1426	647	329	.05	4.99	.63	7	81	26	12.96	15.92
50	6	23.1	10.4	12.6	5.8	512	143	76	89	17	336	592	1050	674	1256	408	365	.04	4.44	.56	7	81	23.2	14.28	13.92

Bestand	Region	HTJr	TTJr	HTJr	TTJi	GJr	Gji	RHJr	RHJi	Ns	Nw	N	ETP	HD	JTS	JKS	FFP	SFI	WFI	JFI	LTP	VWR	SI	BHD	H
51	6	23	10.3	12.5	5.9	511	142	77	90	16	333	589	1047	663	1253	394	365	.04	4.41	.56	7	81	21.7	10.80	12.86
52	6	23	10.2	12.5	5.9	515	141	76	89	17	342	599	1044	660	1255	390	365	.04	4.56	.57	7	81	24.3	12.45	14.93
53	6	26.8	10.9	13.5	5.5	605	144	66	83	36	478	808	1185	715	1445	610	353	.07	6.36	.7	7	81	23.2	10.64	13.64
54	6	27.8	11.2	13.8	5.2	611	147	76	82	41	495	826	1210	742	1550	634	336	.08	6.07	.69	7	81	23.3	13.62	14.26
55	6	23	10.2	12.6	5.9	515	142	76	90	17	342	598	1044	660	1255	390	365	.04	4.45	.58	7	81	29.2	14.02	17.68
56	6	24	10.4	12.8	5.9	546	141	76	87	22	369	639	1065	676	1244	438	364	.05	5	.6	7	81	22.1	12.06	13.26
57	6	24	10.4	12.9	5.9	547	141	66	87	22	369	640	1066	676	1245	440	364	.05	5.01	.6	7	81	20	11.26	11.89
58	6	27.8	11.2	13.7	5.2	611	147	71	83	37	478	800	1212	744	1565	681	335	.08	5.86	.67	6	81	21.2	9.60	12.57
59	6	24.1	11.3	13.2	5.3	526	149	72	85	24	433	724	1127	735	1450	654	324	.05	5.12	.64	7	81	23.7	9.24	12.40
60	7	27.2	10.2	13.8	5.5	605	142	72	84	37	517	866	1132	708	1358	526	349	.08	7.2	.75	6	85	28.2	22.29	14.91
61	7	24.6	11.2	13.4	5.8	603	142	75	86	32	510	894	1128	675	1182	525	361	.06	7.55	.79	6	85	26.4	16.92	16.32
62	7	27	11.4	14.2	5.1	611	146	66	84	46	578	1026	1140	700	1355	643	340	.1	7.88	.8	6	85	25.6	14.40	14.06
63	7	25	11.3	13.6	5.7	604	143	73	85	30	512	893	1123	675	1225	544	359	.06	7.53	.79	6	80	32.1	21.15	19.35
64	7	27	10.8	13.5	5.8	602	142	74	84	37	511	840	1122	710	1341	528	355	.07	6.97	.75	6	81	26.6	19.37	14.74
65	7	25.2	11	13.6	5.8	602	142	76	85	24	450	760	1110	680	1225	545	361	.05	6.84	.68	6	81	27	19.35	16.20
66	7	27.2	11.3	14.1	5.2	608	144	69	83	24	430	726	1122	705	1385	625	345	.05	6.01	.65	7	86	33.3	21.45	19.20
67	7	28	11.8	14.3	4.5	616	148	64	82	36	502	846	1238	748	1596	728	328	.07	6.06	.68	6	88	26.2	15.43	12.86
68	7	26	11.4	13.9	5.4	607	144	71	85	38	536	942	1127	682	1276	581	351	.08	7.65	.83	6	81	26	19.20	17.20
69	7	25.9	11.4	13.4	5.1	607	147	66	84	62	634	1208	1141	601	1384	650	345	.13	8.75	1.04	6	85	32.3	21.33	20.00
70	7	26	11.5	13.5	4.9	608	148	64	84	65	689	1311	1198	598	1466	748	338	.12	8.7	1.08	6	85	28	14.22	18.65
71	7	24.1	11.2	13.5	5.6	604	143	72	86	48	559	1019	1114	656	1228	536	354	.1	8.24	.92	6	80	28.9	13.50	18.30
72	7	26	11.5	13.5	4.9	608	148	64	84	65	689	1311	1198	598	1466	748	338	.13	8.75	1.04	6	83	29.2	16.20	18.80
73	7	24	11.2	13.5	5.6	604	143	72	86	47	557	1013	1114	655	1223	533	354	.1	8.22	.91	6	80	27.1	18.36	17.64
74	7	24	11.3	13.3	5.4	604	147	70	86	52	578	1063	1114	620	1268	561	352	.1	8.54	.96	6	85	27.8	14.06	16.46
75	7	27.3	11.4	14.4	4.8	613	147	65	83	39	588	999	1166	714	1436	686	331	.08	7.82	.86	6	92	30.4	20.53	19.20
76	7	25.4	11.2	13.7	5.4	608	145	68	85	57	598	1119	1131	665	1300	592	349	.11	8.49	.99	6	82	24.3	12.00	14.93
77	7	25.8	11.3	13.8	5.5	607	144	70	85	46	562	1018	1120	670	1273	578	345	.09	7.96	.91	6	80	25.3	15.69	16.34
78	7	25.4	11.2	13.7	5.4	608	145	68	85	57	598	1119	1131	665	1300	592	349	.11	8.49	.99	6	80	28.3	15.04	18.48
79	7	27.5	11.6	13.5	4.2	612	152	58	83	64	709	1328	1228	594	1520	824	332	.12	8.61	1.08	6	95	23.1	11.15	12.80
80	7	27.6	11.7	14.2	5	612	147	66	82	40	543	924	1203	738	1542	632	335	.08	6.83	.77	6	85	22.9	10.80	13.31
81	7	28.4	11.8	13.4	3.8	615	153	57	83	49	621	1109	1269	659	1611	929	317	.09	7.49	.87	6	110	27.6	15.90	17.60
82	7	25.1	11.2	13.7	5.4	607	145	69	85	55	590	1098	1126	663	1285	579	350	.11	8.46	.98	6	82	28.8	11.58	18.21
83	8	27.2	11.4	13.5	5.2	600	120	65	85	48	591	940	980	697	1567	611	291	.11	7.89	.81	6	78	32.3	15.98	19.58
84	8	23.7	11.1	13.3	5.8	600	120	65	85	56	691	1100	960	656	1258	458	330	.13	9.14	.93	5	80	25	13.26	15.16
85	8	25.5	11.4	13.5	5.5	600	125	65	85	53	651	1035	1020	680	1368	534	291	.12	8.64	.88	5.5	78	27	13.20	16.20
86	8	24	11.2	13.3	5.8	580	120	65	85	60	742	1180	970	623	1272	458	332	.14	9.78	.99	5	81	26	13.89	15.43
87	8	25.3	11.3	13.5	5.5	600	120	65	85	53	651	1035	1000	678	1409	534	300	.12	8.61	.88	5.5	78	26.4	14.12	16.24
88	8	26	11.4	13.6	5.4	600	120	63	85	49	610	970	1000	703	1478	560	300	.11	8.12	.84	6	76	26.4	13.41	16.24
89	8	26	11.4	13.6	5.4	600	120	63	85	49	610	970	1000	703	1478	560	300	.11	8.12	.84	6	76	28.1	12.63	17.05
90	8	24.5	11.3	13.4	5.6	580	120	63	85	56	691	1100	980	652	1339	508	332	.13	9.14	.93	5	80		12.88	20.00
91	8	24.8	11.3	13.4	5.6	580	120	63	85	58	710	1130	980	653	1356	508	332	.13	9.38	.88	5	81	31	13.98	19.06
92	8	24.8	11.3	13.4	5.6	580	120	63	85	58	710	1130	980	653	1356	508	332	.13	9.38	.88	5	81	23.5	18.46	12.00
93	8	27	11.4	13.5	3	600	125	63	85	49	610	970	1050	725	1456	1173	271	.12	8.12	.84	5.5	106	24	10.00	14.67
94	8	23.6	11.2	13.2	5.7	530	110	70	89	67	830	1320	940	585	1249	483	342	.16	10.9	1.09	5	84		18.60	21.60
95	8	25.1	11.4	13.4	5.4	580	125	60	85	71	880	1400	965	604	1388	560	280	.15	11.5	1.15	5	81	28.4	13.93	17.33
96	8	25.6	11.4	13.5	5.4	580	125	60	85	68	842	1340	965	634	1443	560	280	.15	11.0	1.1	5	78	25.1	14.87	15.33
97	8	25.9	11.4	13.5	5.3	580	125	60	85	62	767	1220	965	693	1464	586	270	.14	10.1	1.02	5	79	24	11.33	14.67
98	8	25.9	11.4	13.5	5.3	580	125	60	85	62	767	1220	965	693	1464	586	270	.14	10.1	1.02	5	79	28.4	13.93	17.33
99	8	22.6	11.2	13.3	5.5	580	100	65	86	71	878	1390	880	505	1797	534	310	.18	11.5	1.14	5	86	27.6	15.81	16.94
100	8	23.3	11	13.3	5.4	580	100	65	85	77	953	1515	880	490	1212	560	310	.2	12.4	1.23	5	88		14.91	18.00
101	8	23	11.2	13.4	5.5	580	100	65	85	72	889	1415	880	504	1205	534	310	.18	11.6	1.16	5	85	33	18.60	18.00
102	8	23	11.2	13.4	5.5	580	100	65	85	72	889	1415	880	504	1205	534	310	.18	11.6	1.16	5	85	28	12.42	16.17
103	8	23	11.2	13.4	5.5	580	100	65	85	72	889	1415	880	504	1205	534	300	.18	11.6	1.15	5	85	28	11.42	15.36
104	8	23	11.2	13.4	5.5	580	100	65	85	72	889	1415	880	504	1205	534	310	.18	11.6	1.16	5	85	26.4	15.53	16.24
105	8	23	11.2	13.4	5.5	580	100	65	85	72	889	1415	880	504	1205	534	300	.18	11.6	1.16	5	85	25.1	14.20	15.33
106	8	23.5	11.1	13.5	5.3	580	100	65	85	75	930	1480	880	498	1241	586	300	.19	12.1	1.2	5	86	33	16.97	20.57
107	8	23.5	11.1	13.5	5.3	580	100	65	85	75	930	1480	880	498	1241	596	300	.19	12.1	1.2	5	86		24.72	25.20
108	8	24.7	11	13.5	5.2	570	100	65	85	82	1015	1615	880	479	1264	611	300	.21	13.2	1.31	5	86	28	14.33	17.25
109	8	24.7	11	13.5	5.2	570	100	65	85	82	1015	1615	880	479	1264	611	300	.21	13.2	1.31	5	86	24.2	13.69	13.64
110	8	24.7	11	13.5	5.2	570	100	65	85	82	1015	1615	880	479	1264	611	300	.21	13.2	1.31	5	86		19.30	18.00
111	8	24.7	11	13.5	5.2	570	100	65	85	82	1015	1615	880	479	1264	611	300	.21	13.2	1.31	5	86		17.63	23.08
112	8	24.7	11	13.5	5.2	570	100	65	85	82	1015	1615	880	479	1264	611	290	.21	13.2	1.31	5	86	32	17.50	19.00

Bestand	Region	HTJr	TTJr	HTJr	TTJi	GJr	Gji	RHJr	RHJi	Ns	Nw	N	ETP	HD	JTS	JKS	FFP	SFI	WFI	JFI	LTP	VWR	SI	BHD	H
113	8	24.3	10.5	13.5	5	570	100	65	85	96	1178	1875	880	444	1267	662	290	.25	12.3	1.49	4	90	26.2	13.72	15.13
114	8	24.3	10.5	13.5	5	570	100	65	85	96	1178	1875	880	444	1267	662	290	.25	12.3	1.49	4	90	26.1	12.00	15.27
115	8	24.3	10.5	13.5	5	570	100	65	85	96	1178	1875	880	444	1267	662	290	.25	12.3	1.49	4	90	30	11.03	16.62
116	8	24.3	10.5	13.5	5	570	100	65	85	96	1178	1875	880	444	1267	662	290	.25	12.3	1.49	4	90	30	18.00	17.00
117	8	24.3	10.5	13.5	5	570	115	57	80	96	1178	1875	880	444	1267	662	290	.25	12.3	1.49	4	90	27.6	12.42	16.94
118	8	24.3	10.5	13.5	5	570	100	65	80	96	1178	1875	880	444	1267	662	295	.25	12.3	1.49	4	90		22.06	20.31
119	8	24.7	10.3	13.5	4.8	570	105	63	80	112	1382	2200	900	421	1264	713	284	.28	17.8	1.73	3	97	32	16.63	18.86
120	8	24.7	10.3	13.5	4.8	570	105	63	85	112	1382	2200	900	421	1264	713	284	.28	17.8	1.73	3	97	30	16.56	18.40
121	8	22.5	11.2	13.3	5.7	570	100	65	85	72	889	1415	840	501	1169	483	320	.19	11.6	1.16	5	85		20.40	18.46
122	8	23.5	10.4	13.4	5.4	570	105	65	85	82	1015	1615	860	473	1195	560	300	.22	13.2	1.31	5	89		20.84	16.36
123	8	24.1	9.6	13.6	5	570	110	63	85	98	1210	1925	870	435	662	662	295	.25	15.7	1.53	4	93		24.12	20.40
124	8	24.3	9.3	13.7	4.8	570	110	60	85	107	1340	2100	880	417	713	713	290	.27	17.3	1.66	3	95		22.92	18.00
125	8	24.6	9.4	13.5	3.5	570	115	60	80	126	1556	2475	900	391	1178	1045	280	.31	20	1.93	3	116		16.20	21.43
126	8	24.6	9.4	13.5	3.5	570	100	57	80	126	1556	2475	900	391	1178	1070	280	.31	20	1.93	3	116	32	17.50	19.00
127	8	24.6	9.7	13.4	4.3	570	115	57	80	121	1493	2375	900	395	1211	840	280	.3	19.2	1.86	3	105	31.7	16.67	19.33
128	8	24.8	9.6	13.4	3.5	570	115	57	80	117	1446	2300	900	401	1213	1060	280	.3	18.6	1.8	3	115		20.22	24.00
129	8	24.8	9.6	13.4	3.5	570	115	57	80	117	1446	2300	910	401	1213	1050	275	.3	18.6	1.8	3	115		17.72	12.00
130	8	24.7	9.4	13.4	3	570	115	57	80	127	1571	2500	900	392	1178	1150	275	.32	20.2	1.95	3	122	27.6	12.42	16.94
131	8	24.9	9.9	13.3	3.2	560	120	57	80	107	1320	2100	920	451	1228	1123	270	.26	17.0	1.66	3	118		24.44	24.70
132	8	25.4	9.5	13.2	3.5	560	115	57	80	107	1320	2100	920	455	1237	1020	275	.26	17.0	1.66	3	115	23	13.98	13.80
133	8	25.4	9.5	13.2	3.5	560	115	57	80	107	1320	2100	920	455	1237	1030	275	.26	17.0	1.66	3	115	25.1	14.20	15.33
134	8	26.2	9.8	13.1	4	560	115	57	80	87	1074	1708	930	540	1322	917	270	.21	14.0	1.37	4	107		22.92	18.00
135	8	25.4	10.3	13.2	3.6	560	120	56	80	106	1304	2075	930	457	120	1040	270	.25	16.8	1.64	3	112		18.84	19.20
136	8	22.5	11.2	13.3	5.7	560	100	65	85	72	889	1415	840	501	480	483	340	.19	11.6	1.16	5	85	32	15.23	18.46
137	8	23	11	13.4	5.5	560	100	65	85	75	921	1465	840	495	1193	534	330	.2	12.0	1.2	5	86		20.40	24.00
138	8	23	11	13.4	5.5	560	100	65	85	75	921	1465	840	495	1193	534	330	.2	12.0	1.2	5	86		23.16	22.80
139	8	23	11	13.4	5.5	560	100	65	85	75	921	1465	845	495	1193	534	330	.2	12.0	1.2	5	86		22.04	18.55
140	8	23	11	13.4	5.5	560	100	65	85	74	911	1450	840	497	1193	534	330	.19	11.9	1.19	5	86	33.5	23.70	22.00
141	8	23	11	13.4	5.5	560	105	65	85	74	911	1450	840	497	1193	534	320	.19	11.9	1.19	5	86		25.20	19.20
142	8	24.1	10.4	13.5	5.3	560	110	60	85	87	1069	1700	860	461	1242	583	313	.22	13.9	1.37	5	87		23.76	24.00
143	8	24.1	11.1	13.3	5.6	560	100	65	85	71	880	1400	840	501	1168	508	325	.19	11.5	1.15	5	86		19.48	22.15
144	8	24.1	10.4	13.5	5.3	560	100	60	85	75	927	1475	860	478	1244	583	313	.2	12.1	1.2	5	87		21.38	20.73
145	8	24.1	10.4	13.6	5.2	560	100	60	85	76	943	1500	860	494	1245	611	313	.2	12.3	1.22	5	87		21.27	27.27
146	8	24.1	10.7	13.7	5.4	560	100	65	85	82	1006	1600	840	478	1276	560	313	.21	13.1	1.29	5	80	28.7	18.21	17.65
147	8	24.1	10.7	13.7	5.4	560	100	65	85	82	1006	1600	840	478	1276	560	313	.21	13.1	1.29	5	80	28.7	13.41	17.65
148	9	23.1	10.6	11.8	4.6	450	90	71	87	92	1132	1800	850	332	1059	950	270	.35	14.7	1.44	3	123	33.6	17.22	21.88
149	9	24.7	10.2	11.4	4.2	450	90	71	87	97	1195	1900	875	351	1138	1100	250	.35	15.5	1.61	3	127	28.2	13.67	17.33
150	9	24.8	9.7	10.9	3.9	450	90	71	87	113	1383	2200	875	308	1090	1100	250	.4	17.8	1.73	3	136	30	13.80	17.45
151	9	24.3	10.3	11.3	4.3	450	90	71	87	113	1383	2200	850	285	1109	1000	270	.42	17.8	1.73	2	128	29	15.54	17.40
152	9	24.8	9.7	10.8	3.7	450	90	71	87	124	1515	2410	850	272	1083	1100	250	.44	19.5	1.88	2	138	33.7	13.80	21.82
153	9	24.8	9.5	10.7	3.5	450	90	71	87	124	1515	2410	869	258	1062	1100	250	.45	19.5	1.88	2	142	30.7	16.02	19.06
154	9	24.8	9.5	10.7	3.5	450	85	71	87	124	1515	2410	869	258	1062	1100	250	.45	19.5	1.88	2	142	30.7	19.06	19.06
155	9	24.8	9.5	10.7	3.5	450	85	71	87	124	1515	2410	869	258	1062	1100	250	.45	19.5	1.88	2	142	28.4	16.45	17.65
156	9	24.5	9.7	10.8	3.7	450	85	71	87	125	1528	2430	850	267	1059	1100	250	.45	19.7	1.9	2	140	29.1	13.36	16.70
157	9	24.1	10.4	11.6	4.4	450	85	71	87	90	1100	1750	850	345	1115	1000	260	.34	14.3	1.4	3	124	27.9	14.28	15.60
158	9	24.1	10.4	11.6	4.4	450	80	71	87	90	1100	1750	850	345	1115	1000	260	.34	14.3	1.4	3	124	28.2	16.48	17.60
159	9	24.1	10.4	11.6	4.4	450	80	71	87	90	1100	1750	850	345	1115	1000	260	.34	14.3	1.4	3	124	23.4	16.29	14.57
160	9	23.9	10.4	11.5	4.4	450	80	71	87	113	1383	2200	850	272	1094	1000	260	.43	17.8	1.73	2	126	33.7	17.04	22.40
161	9	23.9	10.4	11.5	4.4	450	80	71	87	113	1383	2200	850	272	1094	1000	260	.43	17.8	1.73	2	126	31.8	16.90	20.00
162	10	22.8	10.9	11.6	4.1	450	80	70	87	296	1085	2475	800	220	750	900	270	.5	15	1.93	.5	125	32.3	21.84	19.32
163	10	22.2	10.9	11.6	4	440	75	70	87	293	1074	2450	800	220	750	900	270	.5	15	1.91	.5	125	27.9	21.49	17.24
164	10	22.2	10.9	11.6	3.9	440	75	70	87	292	1069	2440	800	220	750	900	270	.5	15	1.9	.5	125	25.5	18.11	15.71
165	10	22.5	10.9	11.6	3.9	440	75	70	87	280	1027	2344	800	220	770	950	270	.5	15	1.83	.5	130	27.6	19.09	17.02
166	10	21.5	10.9	11.6	4.3	430	75	70	87	299	1096	2500	800	200	750	900	270	.5	15	1.94	.5	130	27.9	21.70	17.50
167	10	21.9	10.1	11.6	4.1	430	75	70	87	295	1081	2467	800	220	750	950	265	.5	15	1.94	.5	130	25.8	23.88	15.36
168	10	21.3	10.1	11.6	4.5	430	75	70	87	299	1096	2500	800	220	750	950	270	.5	15	1.95	.5	130	27.8	20.77	17.54
169	10	22.9	10.1	11.6	3.8	430	75	70	87	267	980	2237	820	220	800	1000	265	.5	15	1.75	1	130	29.8	20.50	18.70
170	10	22.9	10.1	11.6	3.8	430	75	70	87	267	980	2237	820	220	800	1000	265	.5	15	1.76	1	130	30.5	22.06	19.29

Bestand	Region	HTJr	TTJr	HTJr	TTJi	GJr	Gji	RHJr	RHJi	Ns	Nw	N	ETP	HD	JTS	JKS	FFP	SFI	WFI	JFI	LTP	VWR	SI	BHD	H
171	10	22.9	10.1	11.6	3.8	430	70	70	87	267	980	2237	820	220	800	1000	265	.5	15	1.76	1	130	28.7	19.53	17.67
172	10	23.2	10.1	11.6	3.7	430	70	70	87	248	909	2075	820	220	800	1000	265	.5	15	1.64	1	130	30.7	17.60	19.30
173	10	23.3	10.1	11.6	3.7	430	70	70	87	244	893	2038	820	220	800	1000	265	.5	15	1.61	1	130	28.3	20.07	16.91
174	10	23.6	10.1	11.6	3.6	430	70	70	87	238	872	1989	840	220	820	1030	265	.5	15	1.58	1	135	30.3	18.40	19.20
175	10	21.5	10.1	11.6	4.6	430	70	70	87	293	1076	2455	810	200	750	800	270	.6	17	1.91	.5	125	23.7	18.00	14.90
176	10	23.7	10.9	11.1	3.8	420	70	73	87	241	882	2013	810	105	750	900	270	.65	22	1.59	.3	135	26.5	20.40	16.60
177	10	23.7	10.9	11.1	3.8	420	70	73	87	241	882	2013	810	105	750	900	270	.65	22	1.6	.3	135	26.9	19.71	17.14
178	10	23.7	10.9	11.1	3.8	420	70	73	87	241	882	2013	810	105	750	900	270	.65	22	1.59	.3	135	23	19.60	16.48
179	10	23.5	10.9	11.1	3.9	420	70	73	87	244	894	2040	810	105	750	900	270	.65	22	1.61	.3	135	22	13.33	13.39
180	10	23.3	10.9	11.1	3.3	420	70	73	87	202	741	1690	810	105	750	900	270	.65	22	1.36	.3	135	24.3	14.80	15.44
181	10	23.5	10.1	11.6	3.2	420	70	68	87	190	695	1587	810	90	750	1100	240	.7	22	1.28	.3	140	33.4	18.32	21.84
182	10	20	11.1	11.8	4.7	420	70	73	87	289	1059	2417	780	45	650	780	280	.9	23	1.89	.1	130	25.3	18.11	15.60

Mit:

HTJr = mittl. max. Lufttemperatur im Januar, TTJr = mittl. min. Lufttemperatur im Januar, HTJi = mittl. max. Lufttemperatur im Juli, TTJi = mittl. min. Lufttemperatur im Juli, GJr = mittl. tägliche Globalstrahlungssumme im Januar, GJi = mittl. tägliche Globalstrahlunssumme im Juli, RHJr = mittl. Luftfeuchtigkeit im Januar, RHJi = mittl. Luftfeuchtigkeit im Juli, Ns = Sommerniederschlagssumme, Nw = Winterniederschlagssumme, N = Jahresniederschlagssumme, ETP = mittl. jährliche potentielle Evapotranspiration, HD = mittl. jährliches hygrisches Defizit, JTS = mittl. jährliche Temperatursumme, JKS = mittl. jährliche Kältesstundesumme, FFP = frostfreien Periode, SFI = Sommerfeuchtigkeitsindex, WFI = Winterfeuchtigkeitsindex, JFI = jährlicher Feuchtigkeitsindex, LTP = Länge der Trockenperiode, VWR = Vegetationsperiode, SI = Standortsindex (Bäume 20 Jahre alt), BHD = Brusthöhendurchmesser (Bäume 12 Jahre alt), H = mittl. Baumhöhe (Bäume 12 Jahre alt)

LEBENSLAUF:

Persönliche Daten:

Juan Caldentey
geb. am 9.11.1954 in Santiago, Chile

Ausbildung:

1961-1968	Besuch der Grundschule in Santiago
1969-1972	Besuch des Gymnasiums in Santiago
1973-1978	Studium der Forstwissenschaften an der Universidad de Chile, Santiago
1979-1980	Anfertigung der Diplomarbeit zum Thema: "Bestimmung und Quantifizierung der klimatologischen Parameter in der IV. Region von Chile" an der Facultad de Ciencias Forestales der Universidad de Chile
1983-1984	Forstliche Weiterbildung am Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München bei Prof. Dr. Dr. h.c. A. Baumgartner
seit 1985	Anfertigung der vorliegenden Dissertation am Lehrstuhl für Bioklimatologie und Angewandte Meteorologie der Universität München
seit 1981	wissenschaftlicher Assistent am Departamento de Silvicultura, Universidad de Chile

ERKLÄRUNG

Sämtliche Quellen und Anregungen, die ich in meiner vorliegenden Dissertation verwendet habe, sind als solche in der Arbeit gekennzeichnet.

München, im Mai 1989

.....

(Juan Caldentey)